

Absorción de nutrientes y capacidad productiva de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. en cultivos de alta densidad, bajo diferentes grados de fertilización.

Laura Daniela Vargas Jaimes, Jefferson Andrés Martínez Sierra

Trabajo de Grado para Optar el Título de
Ingeniero Forestal

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

PhD. en Ciencias Agrarias

Codirector

Jorge Andrés Rodríguez Toro

PhD. en Ciencias Forestales

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2019

Dedicatoria

A Dios por mantenerme firme en este mundo y darme las capacidades suficientes para hacer todo aquello que me proponga.

A mis padres Nancy Jaimes y German Vargas por su amor y compromiso, lo cual fue fundamental para que este sueño se hiciera realidad, son mi motor de vida y los que me inspiran a seguir creciendo personal y profesionalmente.

A mi hermano Fernando Vargas por su compañía y apoyo durante toda mi vida. En general a toda mi familia por su respaldo en este proceso.

A mis amigos por hacer de esta experiencia universitaria de principio a fin “única”.

Laura Daniela Vargas Jaimes

Dedicatoria

A Dios por darme la vida, por todas las puertas que abrió en este camino, pero aún más, por aquellas que cerró para protegerme. Por la sabiduría e inteligencia que me ha brindado para adquirir nuevos conocimientos y por traer a mi vida personas tan especiales que han sido mi soporte y compañía en esta etapa tan importante.

A mi madre Cecilia Sierra por su amor y apoyo incondicional, por sus enseñanzas y por forjar en mí los valores y principios de gran importancia que hoy hacen de mí lo que soy. Por su motivación, trabajo y sacrificio en todos estos años lo cual hizo posible lograr este propósito de vida.

A mis hermanos Leidy, Jimmy y William por su compañía y apoyo durante toda mi vida. En general a toda mi familia por su respaldo en este proceso.

A Hayde Barón y Fernando Rojas por creer en mí y brindarme su apoyo en cada paso. A todos mis amigos y compañeros de estudio, al Grupo de danzas Zambomba y a la Coordinadora Regionales UIS (CRU) por hacer de esta experiencia universitaria “exquisita”.

Jefferson Andrés Martínez Sierra

Agradecimientos

Queremos agradecer a la Universidad Industrial de Santander sede Málaga por todo el conocimiento, enseñanzas y formación que me ha ofrecido.

Agradecemos al docente PhD. Julián Mauricio Botero Londoño y al PhD. docente Jorge Andrés Rodríguez Toro por ser nuestro director y codirector de tesis respectivamente.

A los docentes Erika Mayerly Celis Celis, Leydis Dayanis Davila Laprea, Dora Angélica Torres Machuca, Leonardo Cáceres Cáceres, Diego Suescun Carvajal, y Herwin Ramiro Roa Caicedo por su compañía en el transcurso de esta investigación, sin la cual el desarrollo de la misma se hubiese tornado más difícil, en general a todos los docentes y administrativos de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga por su colaboración.

“La naturaleza nunca se apresura. Átomo por átomo, poco a poco logra su trabajo.”

RALPH WALDO EMERSON

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	22
1 Objetivos.....	24
1.1 Objetivo General	24
1.2 Objetivos Específicos	24
2 Marco Referencial.....	25
2.1 Marco Teórico.....	25
2.2 Marco Histórico	28
2.3 Marco Conceptual	28
2.4 Marco Jurídico	32
3 Metodología.....	33
3.1 Tipo de investigación	33
3.2 Germinación.....	33
3.3 Ubicación.....	34
3.4 Caracterización del área de estudio	35
3.5 Análisis de suelo	36
3.6 Análisis foliar del <i>Pinus patula</i>	36
3.7 Acondicionamiento del área del proyecto	37
3.8 Diseño Experimental	37
3.9 Trasplante	38
3.10 Diseño de siembra	39
3.11 Diseño de Tratamientos.	39
3.12 Fertilización	39
3.12.1 Plan de fertilización..	40
3.13 Manejo Agronómico.....	41
3.14 Medición de Variables.....	41
3.14.1 Altura de la planta.	41
3.14.2 Diámetro de la planta.....	41

3.14.3 Acumulación de biomasa	42
3.14.4 Producción de biomasa del <i>Pinus patula</i> en el proyecto.	42
3.14.5 Eficiencia en la Fertilización del <i>Pinus patula</i> en el proyecto.....	42
3.15 Contenido foliar del <i>Pinus patula</i> en el proyecto.....	42
3.16 Extracción de nutrientes del <i>Pinus patula</i> en el proyecto.....	43
3.17 Tabulación de Datos	43
3.18 Análisis Estadístico	43
4 Resultados.....	44
4.1 Análisis foliar inicial	44
4.2 Análisis de suelos	44
4.3 Variables	45
4.3.1 Altura.	45
4.3.2 Diámetro.	46
4.4 Contenido vegetal final.....	47
4.4.1 Absorción de nutrientes.	50
4.4.1 Biomasa.	54
4.5 Eficiencia de la fertilización	55
4.6 Costo de fertilizante.....	56
5 Discusión	57
6 Conclusiones	58
7 Recomendaciones.....	59
Referencias bibliográficas	60
Apéndices	65

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Taxonomía del Pinus patula.	25
Tabla 2. Descripción de fertilizante utilizado.	40
Tabla 3. Gramos de fertilizante y minerales por planta.	40
Tabla 4. Gramos de fertilizante y minerales por tratamiento.	41
Tabla 5. Análisis foliar inicial.	44
Tabla 6. Análisis de suelos.	45
Tabla 7. Altura.	46
Tabla 8. Diámetro.	47
Tabla 9. Contenidos foliares tallo.	48
Tabla 10. Contenidos foliares acícula.	49
Tabla 11. Contenidos foliares raíz.	49
Tabla 12. Contenidos foliares total.	50
Tabla 13. Macronutrientes (Fósforo, nitrógeno y potasio).	50
Tabla 14. Calcio (Ca) y magnesio (Mg).	51
Tabla 15. Micronutrientes (Fe y Mn).	52
Tabla 16. Cobre (Cu) y Zinc (Zn).	53
Tabla 17. Biomasa seca.	54
Tabla 18. Eficiencia de la fertilización.	55
Tabla 19. Valor de fertilizantes.	57
Tabla 20. Valor de fertilizante por planta.	57

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Delimitación del terreno.....	35
Figura 2. Diseño experimental y ubicación de las repeticiones por tratamiento.	38

Lista de Gráficas

Gráfica 1 Altura.....	46
Gráfica 2 Diámetro	47
Gráfica 3 Absorción nitrógeno, fósforo y potasio	51
Gráfica 4 Absorción calcio y magnesio	52
Gráfica 5 Absorción hierro y manganeso	53
Gráfica 6 Absorción cobre y Zinc	54
Gráfica 7 Biomasa	55
Gráfica 8 Eficiencia de la fertilización	56

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1 ANDEVA Diámetro a los 90 días.....	65
Apéndice 2 ANDEVA Diámetro a los 120 días.....	65
Apéndice 3 ANDEVA Altura a los 120 días	65
Apéndice 4 ANDEVA Biomasa total	65
Apéndice 5 ANDEVA Fosforo en tallo	65
Apéndice 6 ANDEVA Fosforo en acícula	66
Apéndice 7 ANDEVA Fosforo en raíz	66
Apéndice 8 ANDEVA fosforo total	66
Apéndice 9 ANDEVA nitrógeno en tallo	66
Apéndice 10 ANDEVA nitrógeno en acícula	66
Apéndice 11 ANDEVA nitrógeno en raíz	66
Apéndice 12 ANDEVA nitrógeno total.....	67
Apéndice 13 ANDEVA potasio en tallo	67
Apéndice 14 ANDEVA potasio en acícula.....	67
Apéndice 15 ANDEVA potasio en raíz	67
Apéndice 16 ANDEVA potasio total	67
Apéndice 17 ANDEVA carbono en tallo	67
Apéndice 18 ANDEVA carbono en acícula	68
Apéndice 19 ANDEVA carbono en raíz.....	68
Apéndice 20 ANDEVA carbono total	68
Apéndice 21 ANDEVA calcio en tallo	68

Apéndice 22 ANDEVA calcio en acícula.....	68
Apéndice 23 ANDEVA calcio en raíz.....	68
Apéndice 24 ANDEVA calcio total	69
Apéndice 25 ANDEVA magnesio en tallo	69
Apéndice 26 ANDEVA magnesio en acícula	69
Apéndice 27 ANDEVA magnesio en raíz	69
Apéndice 28 ANDEVA magnesio total.....	69
Apéndice 29 ANDEVA hierro en tallo.....	69
Apéndice 30 ANDEVA hierro en acícula.....	70
Apéndice 31 ANDEVA hierro en raíz.....	70
Apéndice 32 ANDEVA hierro total	70
Apéndice 33 ANDEVA manganeso en tallo.....	70
Apéndice 34 ANDEVA manganeso en acícula	70
Apéndice 35 ANDEVA manganeso en raíz.....	70
Apéndice 36 ANDEVA manganeso total	71
Apéndice 37 ANDEVA cobre en tallo	71
Apéndice 38 ANDEVA cobre en acícula	71
Apéndice 39 ANDEVA cobre en raíz	71
Apéndice 40 ANDEVA cobre total.....	71
Apéndice 41 ANDEVA zinc en tallo	71
Apéndice 42 ANDEVA zinc en acícula	72
Apéndice 43 ANDEVA zinc en raíz.....	72
Apéndice 44 ANDEVA zinc total.....	72

Apéndice 45 ANDEVA Absorción fosforo en tallo	72
Apéndice 46 ANDEVA Absorción fosforo en raíz	72
Apéndice 47 ANDEVA Absorción fosforo total	72
Apéndice 48 ANDEVA Absorción nitrógeno en tallo	73
Apéndice 49 ANDEVA Absorción de nitrógeno en raíz.....	73
Apéndice 50 ANDEVA Absorción de potasio en el tallo	73
Apéndice 51 ANDEVA Absorción de potasio en las acículas	73
Apéndice 52 ANDEVA Absorción de potasio en la raíz.....	73
Apéndice 53 ANDEVA Absorción de potasio total.....	73
Apéndice 54 ANDEVA Absorción de carbono en las acículas	74
Apéndice 55 ANDEVA Absorción de carbono en la raíz	74
Apéndice 56 ANDEVA Absorción de calcio en tallo	74
Apéndice 57 ANDEVA Absorción de calcio en acícula	74
Apéndice 58 ANDEVA Absorción de calcio en raíz	74
Apéndice 59 ANDEVA Absorción de calcio total.....	74
Apéndice 60 ANDEVA Absorción de magnesio en tallo.....	75
Apéndice 61 ANDEVA Absorción de magnesio en acícula	75
Apéndice 62 ANDEVA Absorción de magnesio en raíz.....	75
Apéndice 63 ANDEVA Absorción de hierro en tallo	75
Apéndice 64 ANDEVA Absorción de hierro en acícula	75
Apéndice 65 ANDEVA Absorción de hierro en raíz	75
Apéndice 66 ANDEVA Absorción de hierro total.....	76
Apéndice 67 ANDEVA Absorción de manganeso en tallo	76

Apéndice 68 ANDEVA Absorción de manganeso en acícula	76
Apéndice 69 ANDEVA Absorción de manganeso en raíz	76
Apéndice 70 ANDEVA Absorción de manganeso total.....	76
Apéndice 71 ANDEVA Absorción de cobre en tallo.....	76
Apéndice 72 ANDEVA Absorción de cobre en raíz.....	77
Apéndice 73 ANDEVA Absorción de cobre total	77
Apéndice 74 ANDEVA Absorción de cobre total	77
Apéndice 75 ANDEVA Absorción de zinc en acícula.....	77
Apéndice 76 ANDEVA Absorción de zinc en raíz	77
Apéndice 77 ANDEVA Absorción de zinc total	77
Apéndice 78 ANDEVA eficiencia de fertilización nitrógeno	78
Apéndice 79 ANDEVA eficiencia de fertilización fosforo	78
Apéndice 80 ANDEVA eficiencia de fertilización potasio	78
Apéndice 81. Pesaje del contenido foliar inicial.	78
Apéndice 82. Secado de muestras en el horno.	79
Apéndice 83. Recolección de muestras para el análisis de suelo.	79
Apéndice 84. Semillas del semillero.	80
Apéndice 85. Tratamiento pregerminativo.	80
Apéndice 86. Tratamiento del sustrato con MERCTEC.	81
Apéndice 87. Elaboración del germinador.....	81
Apéndice 88. Siembra de semillas.....	82
Apéndice 89. Germinador con sustrato y semillas.	82
Apéndice 90. Delimitación del terreno (cercado).	83

Apéndice 91. Germinación de las semillas.	83
Apéndice 92. Ahoyado para la siembra.	84
Apéndice 93. Limpieza del terreno.	84
Apéndice 94. Glifosato empleado para la limpieza del terreno.	85
Apéndice 95. Canales para el agua de escorrentía.	85
Apéndice 96. Árboles para la siembra.	86
Apéndice 97. Árbol antes de la siembra.	86
Apéndice 98. Siembra de árboles.	87
Apéndice 99. Plantación completa.	87
Apéndice 100. Planta al mes después de la siembra.....	88
Apéndice 101. Planta a los 2 meses después de la siembra.	88
Apéndice 102. Planta a los 3 meses de la siembra.	89
Apéndice 103. Planta a los 4 meses de la siembra.	89
Apéndice 104. Mezcla de fertilizantes.....	90
Apéndice 105. Aplicación de fertilizante.	90
Apéndice 106. Marcación del terreno.....	91
Apéndice 107. Medición de variable altura.	91
Apéndice 108. Medición de variable diámetro.	92
Apéndice 109. Toma de puntos en el GPS.	92
Apéndice 110. Plantas después de 5 meses de la plantación para el análisis foliar final.	93
Apéndice 111. Pesaje de las muestras finales divididas en tallo, acícula y raíz.	93
Apéndice 112. Máquina para triturar la muestra.	94
Apéndice 113. Tamizado de la muestra.....	94

Apéndice 114. Pesaje de la muestra tamizada.	95
Apéndice 115. Muestras listas en la mufla 550 grados durante 6h para volver ceniza.	95
Apéndice 116. Muestras listas para el análisis de minerales.	96

RESUMEN

TITULO: ABSORCIÓN DE NUTRIENTES Y CAPACIDAD PRODUCTIVA DE *Pinus patula* Schltdl. & Cham. EN CULTIVOS DE ALTA DENSIDAD, BAJO DIFERENTES GRADOS DE FERTILIZACIÓN¹.

AUTORES: LAURA DANIELA VARGAS JAIMES.
JEFFERSON ANDRÉS MARTÍNEZ SIERRA².

PALABRAS CLAVE: *Pinus patula*, FERTILIZACIÓN, ALTA DENSIDAD, ABSORCIÓN, PRODUCTIVIDAD.

DESCRIPCIÓN:

Para una planta la sobrevivencia está determinada por la absorción de los nutrientes aportados por el aire, suelo y agua, la intervención del ser humano es importante pues con la adecuada fertilización logra brindar condiciones óptimas de desarrollo, lo cual ve como una oportunidad de mejorar su calidad de vida y así obtener subproductos de las plantas. El presente estudio se realizó mediante un diseño de bloques al azar basado en la interpretación de análisis de suelos y contenido foliar de *Pinus patula*, este determinado en base a la absorción de nutrientes de tres tratamientos: tratamiento 1 (absorción +0%), tratamiento 2 (absorción +25%) y tratamiento 3 (absorción +50%) esto con el fin de obtener la capacidad productiva de esta especie en una plantación de alta densidad establecida en predios de la Universidad Industrial de Santander Sede Málaga. Se estipuló realizar la fertilización con UREA, DAP y KCl cada treinta (30) días en los cuales se toma datos de altura y diámetro. Al obtener la totalidad de datos se realizó un test de rangos múltiples de Tukey, el cual arrojó diferencias significativas en la absorción de nutrientes como nitrógeno, potasio y fósforo en el tratamiento 3 el cual presenta un alto costo, es por ello que, dada la cantidad de producción de biomasa en las acículas, la altura y la eficiencia económica es recomendable el tratamiento 2.

¹ Trabajo de Grado

² Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: BOTERO LONDOÑO, Julián Mauricio. PhD. en Ciencias Agrarias.

ABSTRACT

TITLE: NUTRIENT ABSORPTION AND PRODUCTIVE CAPACITY OF *Pinus patula* Schltdl. & Cham. IN HIGH DENSITY CROPS, UNDER DIFFERENT FERTILIZATION DEGREE ³.

AUTHORS: LAURA DANIELA VARGAS JAIMES.
JEFFERSON ANDRÉS MARTÍNEZ SIERRA ⁴.

KEYWORDS: *Pinus patula*, FERTILIZATION, HIGH DENSITY, ABSORPTION, PRODUCTIVITY

DESCRIPTION:

For a plant, survival is determined by nutrients absorption, which are provided by the air, soil and water. Human intervention is shown to be important, as proper fertilization could be achieved optimal development conditions for the plant, which leads to improving human quality life and obtaining its by-products. This study was carried out using a randomized block design based on analysis interpretation of soil and foliar content of *Pinus patula*. Nutrients absorption by *P. patula* was determined using three treatments: treatment 1 (absorption + 0%), treatment 2 (absorption + 25%) and treatment 3 (absorption + 50%), to obtain the productive capacity of this specie in a high-density plantation established on the premises of the Industrial University of Santander, Malaga Campus. Fertilization was performed with UREA, DAP and KCl every thirty (30) days in which height and diameter data were taken. Tukey multiple range test was carried out with the collected data, showing significant differences in nutrients absorption such as nitrogen, potassium and phosphorus in treatment 3, which has a higher cost. Given the biomass production, height and economic efficiency, treatment 2 is recommended.

³ Bachelor thesis

⁴ Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: BOTERO LONDOÑO, Julián Mauricio. PhD. en Ciencias Agrarias.

Introducción

Según White y Marín (2002) El establecimiento de plantaciones forestales comerciales con especies exóticas, ofrece mayores ventajas ya que la velocidad del crecimiento aumenta y por ende los turnos del aprovechamiento se reducen de forma significativa.

La nutrición en las plantas se considera un complemento importante para las labores de producción y manejo de patógenos, por ende, influye en los procesos de crecimiento para lograr alturas en menor tiempo, tolerancia respecto a la mayoría de afectaciones por el cambio climático y resistencia a las plagas (Velasco, 1999).

La biomasa forestal o dendroenergía puede ser manejada sustentablemente ya que es una fuente de energía renovable, una manera importante de producirla es a través del desarrollo de plantaciones de rápido crecimiento y rotaciones cortas. Se deben tener en cuenta diferentes factores como la economía de la producción de materia prima, la productividad y selección del sitio, prácticas silvícolas mejores, densidad de la plantación y control de malezas aseguran un buen rendimiento de la plantación. (Esquivel, 2016)

Este estudio surge con el fin de investigar y ampliar el conocimiento sobre el género *Pinus* en la región, por ende, se enfoca en determinar los requerimientos nutricionales para lograr un desarrollo óptimo del *Pinus patula*, principalmente en el municipio de Málaga, Santander, Colombia. Para esto se implementaron diferentes grados de fertilización, con la finalidad de encontrar el más acorde para las necesidades de esta especie.

El ideal de esta investigación es proponer un modelo correcto para la producción del *Pinus patula* en el municipio de Málaga y la provincia de García Rovira, teniendo en cuenta las características propias de la zona.

En los Andes tropicales, donde la temperatura media es inferior a los 10°C, los suelos presentan características ácidas y altas concentraciones de aluminio, que retardan la actividad microbiana. (León, 2010).

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar la absorción de nutrientes y capacidad productiva de *Pinus patula* en cultivos de alta densidad, bajo diferentes grados de fertilización.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar la producción de biomasa bajo diferentes grados de fertilización en plantaciones de *Pinus patula* con altas densidades de siembra.

Evaluar el efecto de los diferentes grados de fertilización, sobre el contenido foliar del *Pinus patula* en altas densidades de siembra.

Determinar los costos de fertilización de *Pinus patula* en cultivos de alta densidad, bajo diferentes grados de fertilización.

2 Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

El *Pinus patula* (Tabla1) es una especie originaria de México, el cual se desarrolla en altitudes entre los 1500 y 3100 msnm con precipitaciones de 600 a 2500 milímetros año, este es un árbol de porte grande, que logra alturas hasta de 40 m y 120 cm de diámetro, presenta tallo recto, cilíndrico y cónico, de presentación áspera con escamas que se desprenden, con distribución de las ramas de uniformes, presenta copa extendida con ramas largas y colgantes, con un sistema radical pivotante y profundo, presenta hojas aciculadas, alcanzan longitudes de 30 cm y son flexibles y péndulas de color verde azulado. Posee una densidad anhidra de 0.48 g/cm³ y una densidad básica de 0.43 g / cm³, siendo esta una madera blanda de color amarillento y de baja durabilidad natural, de fácil secado, lo que le confiere las características de madera para usos en aserrío (Ospina, 2011).

Tabla 1.

Taxonomía del Pinus patula.

Taxonomía	
Reino	Plantae
Phylum	Pinophyta
Clase	Pinopsida
Orden	Pinales
Familia	Pinaceae
Género	Pinus
Epíteto específico	patula
Autor	Schltld. & Cham
Determinador	SIN

El desarrollo de plantaciones forestales eficientes se sustenta en múltiples factores, donde se destaca el componente edáfico, el cual es dependiente de factores como la humedad y la adición de elementos minerales, donde la fertilización juega un papel determinante en el óptimo desarrollo de estas, así fomentar el crecimiento y la calidad de la madera, sin embargo, dicha fertilización representa desafíos, dado el gran número de factores que intervienen para su determinación, como lo son, los requerimientos nutricionales de las plantas, las características del fertilizante, la fertilidad del suelo, la interacción suelo- fertilizante y el tiempo y sistema de aplicación (Lazáro-Dzul, 2012).

Esquivel (2016) hallaron que la densidad de la plantación fue un factor determinante en la sustentabilidad de plantaciones de alta densidad, debido a que mayor densidad de la plantación la disponibilidad de fósforo y nitrógeno aumentó, lo que podría impactar de manera positiva la captura de carbono y el rendimiento de las plantaciones. Además, para obtener una biomasa sustentable en estas plantaciones y con corta rotación, como las dendroenergéticas, se debe corregir deficiencias nutricionales, teniendo en cuenta el control de malezas y la densidad de la plantación.

Vásquez (2015), no encontraron efectos significativos de la fertilización y el aclareo sobre la producción de biomasa en plantaciones de 13 años, sin embargo, si obtuvieron incrementos en la productividad primaria neta, producción de biomasa y una reducción en la producción de hojarasca en plantaciones de 15 años. Sugiriendo que el recurso de mayor impacto en la producción es la luminosidad y no la fertilización.

Una de las herramientas que permiten el manejo y planificación de los cultivos forestales se basa en el desarrollo de modelos de predicción de rendimiento y crecimiento, lo que hace fundamental desarrollar investigaciones que contemplen múltiples factores como la respuesta de los arboles a diferentes niveles de fertilización (García, 2014; García, 2015).

Uno de los factores determinantes en el desarrollo de sistemas forestales, se basa en la distribución y acumulación de biomasa, tanto en el desarrollo de parámetros productivos como eco sistémicos, para lo cual se deben tomar los valores de acumulación de biomasa aérea y su distribución hacia fuste, ramas, corteza y follaje en cada una de sus etapas de desarrollo, en el estudio de dichos factores, se determinó que la biomasa aérea total se incrementa después de la cosecha sin hallar diferencias estadísticas, al encontrar en rodales de 30 años después de la cosecha una biomasa aérea total inferior solo en un 20% del rodal sin cosecha. Se demuestra que en un menor tiempo un bosque bajo aprovechamiento podría alcanzar niveles de biomasa aérea similares a los del rodal sin cosecha, pues se encuentra el orden de distribución de biomasa fuste- ramas- corteza- follaje (Chávez, 2016).

Según Barreto y León (2005) En Antioquia, en la región de piedras Blancas se realizó un muestreo acerca de las raíces finas (≤ 5 mm) que se encontraban establecidas en bosques de pino patula, las cuales estaban localizados a diferentes profundidades: 0-30, 30-50 y 50-80 cm, dándose a conocer que a medida que la masa de las raíces disminuía la profundidad de las raíces aumentaba en un 75%, teniendo en cuenta la concentración de elementos llevados a cabo en este proceso en donde el patrón de abundancia siguió la secuencia decreciente $Ca > K Mg > Fe > P$.

Las plantaciones forestales presentes en el trópico dependen principalmente del manejo de los nutrientes aplicados y de la fertilidad de su suelo, generalmente estos son ácidos, su pH es bajo, además de poseer poca disponibilidad en elementos como fósforo, sodio, magnesio, potasio y calcio, por otra parte, el aluminio y el manganeso pueden presentar toxicidad. Teniendo en cuenta estos contenidos se deben realizar diferentes acciones que nos permitan mejorar la nutrición en los árboles como son los análisis químicos, fertilización, inoculación de micorrizas y la aplicación de enmiendas para poder alcanzar un mejor desarrollo a nivel forestal. (Rojas, 2015).

El estudio de evaluación de la inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos aislados de la rizósfera de *Pinus patula* en Colombia se realizó bajo condiciones de invernadero, con el fin de observar el efecto de las bacterias en dicha especie; se evidencio gracias a la investigación, un incremento en la asimilación de nitrógeno además de un crecimiento exponencial en la población de bacterias, las cuales son ayuda fundamental para el desarrollo de dichas plantaciones como agentes fertilizadores (Orozco y Martínez, 2009).

2.2 Marco Histórico

En el 2008 se realizó una investigación en el municipio del Cerrito Santander con el fin de avaluar el potencial económico del *Pinus patula* con el propósito de mejorar los procesos financieros presentes en el sector, como la agricultura, la cual ya no representa el mismo desarrollo económico de hace unos años, bien sea por el nivel tecnológico tan bajo con el que se cuenta en la zona; haciendo énfasis en que el estudio es solo una opción de economía la cual se puede combinar con las practicas que ya se desarrollan en el sector (Tarazona, 2012).

2.3 Marco Conceptual

Biomasa: Es aquella materia orgánica de origen animal o vegetal, en donde se incluyen los residuos y desechos orgánicos, susceptibles de ser transformados en combustible útil o aprovechada energéticamente por el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen (García y Martínez, 2014).

Composición química: Es la unión de dos elementos, con la finalidad de conformar otra. Una característica esencial es que poseen una fórmula química. (Apella y Araujo, 2005).

Diseño experimental en bloques completos al azar: Conocido como diseño de doble vía, se aplica cuando el material es heterogéneo. Las unidades experimentales homogéneas se agrupan de forma homogénea a estos se les llama bloques. En este diseño se trata de comparar tres fuentes de variabilidad: el factor de tratamientos, el factor de bloques y el error aleatorio. Cuando se habla de completo se refiere a que en cada bloque se prueban todos los tratamientos. La aleatorización se hace dentro de cada bloque. (Badii, Rodríguez, Wong y Villalpando, 2017).

Dosificación: Determinar o regular la cantidad indicada para la administración de algunas sustancias, intervalos entre las administraciones y la duración de los mismos. (Lazcano, 2016).

Esterilización: Refiere a la acción o proceso de destruir los gérmenes patógenos o de hacer estéril e infecundo algo que antes no lo era, este proceso debe ser diseñado, validado y llevado a cabo para asegurar que es capaz de eliminar la carga microbiana del producto. La efectividad de los agentes de las condiciones bajo las que actúan como: concentración, tiempo y pH. (Hernández, Celorrio, Moros y Bernad, 2014).

Especie: se denomina especie a la unidad básica de clasificación biológica. Una especie es un conjunto de organismos o poblaciones naturales capaces de entrecruzarse y producir descendencia fértil. Existen diferentes tipos de especies que muchas veces dependen de la función que desempeña en el ecosistema y las distintas relaciones que mantienen entre sí, por ejemplo, las hay nativas e inmigrantes, exóticas, exóticas invasoras (Zunino y Palestrini, 1991).

Fertilizante: Son sustancias que contienen elementos o compuestos químicos nutritivos para los vegetales, en forma tal que pueden ser absorbidos por las plantas. Se los utiliza para aumentar la producción, reponer y evitar deficiencias de nutrientes y propender al mejoramiento sanitario

de las plantas. Algunos de los efectos perjudiciales de su uso son el aporte de nitratos a las capas de agua en las áreas de cultivos intensivos, concentraciones de pesticidas, bacterias y residuos agroquímicos. Se pueden diferenciar tres tipos de fertilizante: químicos, orgánicos e inorgánicos. Los químicos son nutrientes elaborados por el hombre que por lo general tienen un origen mineral, animal, vegetal o sintético, además son de acción rápida. Los orgánicos pueden ser de origen mineral, vegetal, animal o mixto. Se forman a partir de procesos naturales en los que la mano del hombre no interviene o interviene muy poco como, por ejemplo, el estiércol de varios animales. Ya por último los fertilizantes inorgánicos se pueden utilizar como compuestos que aportan nutrientes y complementan el material orgánico. Ejemplos de estos son los fosfatos naturales, las rocas silíceas, el cloruro de potasio, la dolomita, la magnesita (Gandara, 2011).

Germinación: Es el proceso mediante el cual un embrión se desarrolla hasta convertirse en una planta. Es un proceso que se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe, el embrión contenido en la semilla presenta diferentes características dependiendo de si pertenece a las monocotiledóneas o a las dicotiledóneas (Rodríguez, Adam y Durán, 2008).

Macronutrientes: Elementos tomados por la planta en grandes cantidades, sobre todo los 3 primeros: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S). Al nivel del suelo, la materia orgánica es muy importante ya que posee elevadas cantidades de Nitrógeno. Cuando hay deficiencia de los demás elementos se disminuye el crecimiento y productividad de las plantas (Ayúzar, 2005).

Materia seca: Parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio. Este procedimiento consiste en pesar la materia fresca o en estado natural, someterla a un secado por calentamiento en una estufa u horno a temperaturas entre los 85 y 105°C, el tiempo dependerá de la sustancia empleada. Una vez pasado

el tiempo de calentamiento se pesa el residuo hasta obtener un peso constante, este será igual a la materia seca (Sánchez, 2010).

Micronutrientes: Elementos tomados por la planta en pequeñísimas cantidades, entre ellos: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) La disponibilidad de los micronutrientes es esencial para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas y para obtener rendimientos elevados. Cuando existe deficiencia de uno o varios elementos menores, éstos se convierten en factores limitantes del crecimiento y de la producción, aunque existan cantidades adecuadas de los otros nutrientes (Prochnow, Moraes y Stipp, 2009).

Mineral: Es un sólido natural y homogéneo, este generalmente está formado por procesos inorgánicos, posee una disposición interna ordenada y una composición química y física bien fijadas (estructura cristalina) que se encuentran formando cristales, o bien, varían de un rango definido, y por lo tanto limitado. Los minerales son absorbidos por las plantas por medio de sus raíces, estos son transportados o translocados a diferentes partes del vegetal y así ser utilizados en diferentes funciones biológicas (García, 2006).

pH: Unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, más específicamente el pH mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada. Cuenta con una escala que va desde 0 hasta 14, alcanzar el 0 (cero) es indicador de máxima acidez, por su parte, 14 es el opuesto, base o básico. El punto intermedio es el 7, como su nombre indica, es lo neutral. El instrumento más utilizado para medir el pH es el papel tornasol (Osorio, 2012).

Variable: Representa a aquello que varía o que está sujeto a algún tipo de cambio. Se trata de algo que se caracteriza por ser inestable, inconstante y mudable. En otras palabras, una variable es un símbolo que permite identificar a un elemento no especificado dentro de un determinado grupo (Fernández y Díaz, 1997).

2.4 Marco Jurídico

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1731 (31, julio, 2014). Por medio de la cual se adoptan medidas en materia de financiamiento para la reactivación del sector agropecuario, pesquero, acuícola, forestal y agroindustrial, y se dictan otras disposiciones relacionadas con el fortalecimiento de la corporación colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA). Bogotá D.C. 2014 (Congreso de Colombia, 2014).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 99 (22, diciembre, 1993). “sobre políticas de cultivos forestales con fines comerciales, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, de conformidad con el parágrafo 3 del artículo 5 de esta ley y el artículo 2 de la Ley 139 de 1994, es la entidad competente para formular la política de cultivos forestales con fines comerciales de especies introducidas o autóctonas, con base en la política nacional ambiental y de recursos naturales renovables formulada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.” (Congreso de Colombia, 1993).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 811 (26, junio, 2003). Por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. 2003 (Congreso de Colombia, 2003).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1351 (13, agosto, 2009). Por medio de la cual se aprueba el “Convenio del Programa Cooperativo para el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria”, Enmendado, y el “Convenio de Administración del Programa Cooperativo para el

Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria”, Enmendado, firmados el 15 de marzo de 1998. Bogotá D.C. 2009 (Congreso de Colombia, 2009).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1286 (2009). Por la cual se fortalece el sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. 2009 (Congreso de Colombia, 2009).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 139 (1994). Por la cual se crea el certificado de incentivo forestal y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. 2009 (Congreso de Colombia, 2009).

3 Metodología

El método utilizado es de tipo experimental en el cuál se aplica análisis de los datos con una ANDEVA o análisis de varianza.

3.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental – longitudinal pues se realiza el análisis de la altura, diámetro, biomasa, entre otras variables a lo largo de un tiempo determinado en una plantación de *Pinus patula*.

3.2 Germinación

Esta se llevó a cabo en el área rural del municipio de Málaga, en la vereda Pescaderito, en el predio el Aliso ubicado en las coordenadas 6°43'24.83" N y 72°44'55.76" O. Las semillas utilizadas son

certificadas por la empresa “El Semillero” de procedencia del lote 82 del municipio Chiquinquirá (BOY) con una pureza del 99% y de germinación del 70%. Según indicaciones de la misma empresa, el tratamiento pregerminativo obligatorio, es sumergirla en agua durante 24 horas. Se utilizaron germinadores de madera con un ancho de un metro por dos metros de largo y una profundidad de seis centímetros, como sustrato se utilizó arena de río lavada, la cual se desinfectó con diez centímetros cúbicos de Tiabendazol por cada dos litros de agua.

Luego de veinticuatro horas, con una profundidad de cinco milímetros en el sustrato se sembraron mil ochocientas sesenta y ocho semillas certificadas, las cuales se sumergieron por veinticuatro horas (24 horas) en agua como tratamiento pregerminativo.

Los riegos se realizaron de forma constante y manual con la finalidad de que el sustrato siempre estuviese húmedo. Por último a los tres meses las plántulas fueron trasplantadas en bolsas negras.

3.3 Ubicación

El proyecto se desarrolló en el área rural del municipio de Málaga, en la vereda Pescaderito, en el predio Palo Santo perteneciente a la Universidad Industrial de Santander sede Málaga, en las coordenadas 6°43'22.03" N y 72°44'58.05" O. El área utilizada fue de cuatrocientos cuarenta y dos metros cuadrados.

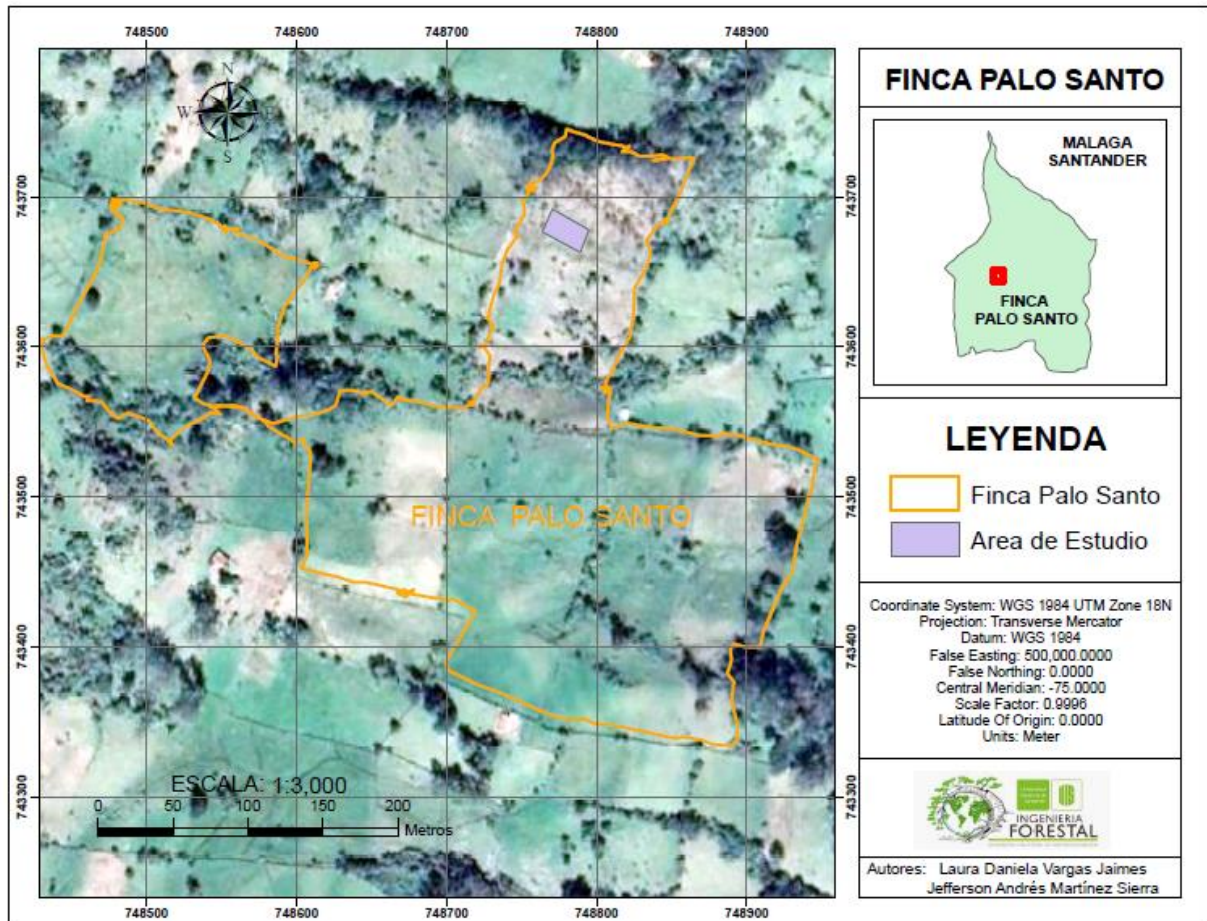


Figura 1. Delimitación del terreno.

3.4 Caracterización del área de estudio

El área de estudio se encuentra en la zona de vida bosque muy húmedo montano Bmh-M (Holdridge, 1967), el paisaje es montañoso, su clima es frío húmedo con una temperatura media de entre 13 °C y 14 °C, posee una precipitación promedio de 1640 a 1660 mm anuales y se ubica a una altitud de 2711m.s.n.m. El contenido pedológico de la zona es andic humitropepts con presencia de calcitas, con una pendiente entre 12 y 25% considerando este como un terreno fuertemente ondulado además de contar con abundante pedregosidad (Jaramillo, 2002).

3.5 Análisis de suelo

Se obtiene mediante la toma de una muestra, se utiliza un barreno y extraer el material a 30 cm de profundidad de suelo en seis puntos diferentes en el área del proyecto. El peso total de la muestra tomada fue de dos kilogramos.

El método analítico utilizado fue: Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada; Colorimétrico: WalkleyBlack $K_2Cr_2O_7$ - SO_4 ; Colorimétrico: Bray II. HCl 0, $I-NH_4F$ 0.03N; Absorción atómica; Extracción: Acetato de amonio; Bouyoucous: Agua destilada; Colorimétrico: Extracción DTPA; Turbidimétrico: Extracción fosfato monocalcico; Extracción: Acetato de amonio; Electrométrico: Agua destilada (Sadzawka, 2004).

3.6 Análisis foliar del *Pinus patula* presente en la zona

El contenido foliar se obtiene al realizar un laboratorio de análisis de tejido vegetal completo (elementos mayores y menores); la muestra necesaria para este laboratorio fue extraída de individuos previamente establecidos en la zona, con un peso de dos kilogramos comprendidos por acículas, ramas y tallo.

El método analítico utilizado fue: Kjeldahl – Trimétrico; Digestión tejido vegetal vía seca y cuantificación espectrofotométrica UV-Visible; Digestión tejido vegetal vía seca y cuantificación espectrofotométrica absorción atómica; Calcinación a $540^{\circ}C$ y cuantificación método de Azometina-H; Digestión vía húmeda - abierta y cuantificación turbimétrica (Sadzawka, 2004).

3.7 Acondicionamiento del área del proyecto

Se realizó un aislamiento del área, la cual fue de diecisiete metros de ancho por veintiséis metros de largo, para esta tarea se utilizaron treinta postes de madera distribuidos uniformemente por el perímetro con aisladores y alambre acerado para su conexión; posteriormente se limpió el terreno de malezas con la aplicación de glicina y copolímero de poliéster y silicona con la ayuda de una bomba de espalda. Se realizó el ahoyado en el área de establecimiento del proyecto con dimensiones de 10cmx10cmx20cm.

Luego de quince días con la ayuda de un azadón y una pica, se extrajo toda la maleza en el área del proyecto; con la ayuda de pala-dragas, barras y azadones se realizó el ahoyado teniendo en cuenta las dimensiones del diseño de siembra, con un diámetro de quince centímetros y una profundidad de diez centímetros.

3.8 Diseño Experimental

Se implementó un diseño de bloques completos al azar, con tres tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de doce unidades experimentales cada una con treinta plántulas de *Pinus patula* a una distancia de siembra de 1 metro por 1 metro.

El factor diferenciador entre los bloques es la pendiente, tal es el caso del bloque uno que cuenta con pendiente de 23%, el bloque dos 20%, el bloque tres 14% y por último el bloque cuatro 10%.

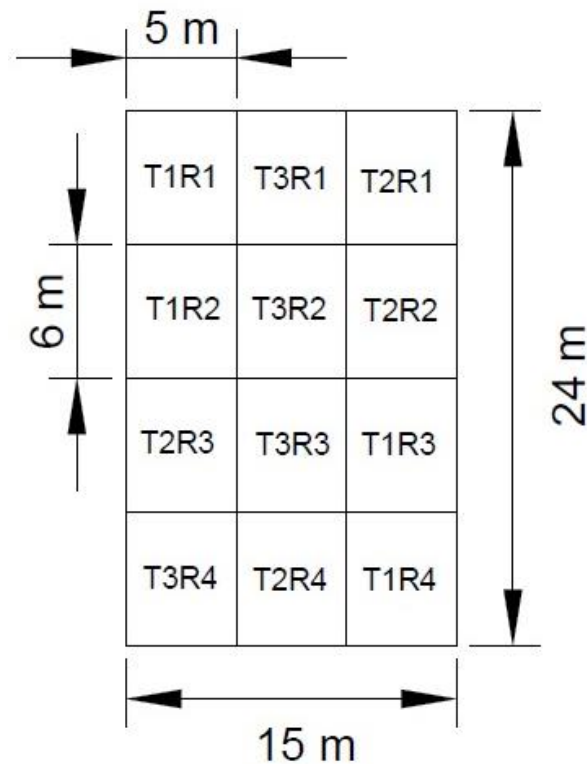


Figura 2. Diseño experimental y ubicación de las repeticiones por tratamiento.

3.9 Trasplante

Se seleccionaron 650 plántulas con las mejores características de crecimiento y se llevaron a bolsas de polietileno de 6cm x 9cm perforadas, el sustrato utilizado estaba compuesto por tierra negra y cascarilla de arroz. Se hizo aplicación de micorrizas, la forma para aplicar las esporas de estas, fue tomando los cuerpos fructíferos (setas) de los hongos *Bolletus sp* (presente en la plantación previamente establecida), especialmente su parte aérea llamada píleo o sombrilla, estas setas se licuaron en agua y el producto obtenido se aplicó por medio de micro aspersión sobre los contenedores a utilizar para el trasplante de las plántulas.

3.10 Diseño de siembra

El cultivo de *Pinus patula* fue establecido con una distancia de siembra de un metro (1m) x un metro (1m), posteriormente se seleccionaron plantas con las mejores características de germinación para la siembra, una de ellas era contar con una altura mayor a 15cm de altura. Al final se agregó tierra hasta que la planta quedara recta, se aprieta la tierra evitando que queden bolsas de aire para lograr afirmar la planta al suelo. La densidad de siembra por unidad experimental fue de 30 plantas.

3.11 Diseño de Tratamientos.

Los niveles de fertilización presentes en cada tratamiento se establecieron teniendo en cuenta el contenido foliar del *Pinus patula* presente en un cultivo preestablecido y el análisis de suelo. El **tratamiento uno o testigo** se establece sin absorción inicial de nutrientes, el **tratamiento dos** con absorción inicial de veinticinco por ciento (+25%) y el **tratamiento tres** con absorción inicial de cincuenta por ciento (+50%).

3.12 Fertilización

En este proyecto se emplearon fertilizantes minerales con alta cantidad de macronutrientes como nitrógeno, fosforo y potasio teniendo en cuenta los resultados en los análisis de tejido vegetal y de suelos. Se decide utilizar UREA, DAP y KCl (Tabla 2).

Tabla 2.

Descripción de fertilizante utilizado.

Fertilizante	Elementos	Aporte (%)
Urea (Aminometanamida)	N	46
DAP (Fosfato de amonio dibásico)	P ₂ O ₅	46
	N	18
KCL (Cloruro de	K ₂ O	60

Nota Tomado de: Fertilizantes aplicados con sus respectivas composiciones. Adaptado de “Producto Agrocafé”. Bogotá. Recuperado de: <https://agrocafe.com.co/#!/productos>.

3.12.1 Plan de fertilización. Establecidos los tratamientos se asignó la cantidad de gramos de fertilizante por cada uno de ellos (Tabla 3).

Tabla 3.

Gramos de fertilizante y minerales por planta.

Tratamiento	Fertilizante (g)			N	Nutrientes (g)	
	Urea	DAP	KCL		P ₂ O ₅	K ₂ O
Tratamiento 2	49.7500	14.0340	14.2160	31.8400	6.4556	8.5296
Tratamiento 3	100.0270	30.6240	30.4090	64.0173	14.0870	18.2454

Se realizan cuatro aplicaciones de tratamientos cada 30 días con la misma dosificación inicial.

Tabla 4.
Gramos de fertilizante y minerales por tratamiento.

Tratamiento	Fertilizante (g)			N	Nutrientes (g)	
	Urea	DAP	KCL		P ₂ O ₅	K ₂ O
Tratamiento 2	5970.0000	1684.0800	1705.9200	3820.8000	774.6768	1023.5520
Tratamiento 3	12003.2400	3674.8800	3889.0800	7682.0736	1690.4448	2333.4480

3.13 Manejo Agronómico

No se aplicó fungicidas, insecticidas, herbicidas o cualquiera de estos agroquímicos, ya que las plantas presentaron excelentes condiciones de sanidad.

3.14 Medición de Variables

3.14.1 Altura de la planta. La altura de la planta se midió, desde el inicio del tallo hasta la copa, con la ayuda de una cinta métrica, esta variable se midió cada treinta días, la medida inicial se tomó el día de siembra y la final cuatro meses después.

3.14.2 Diámetro de la planta. El diámetro de la planta se midió con un calibrador “pie de rey” cada treinta días, la medida inicial se realizó el día de siembra y la final cuatro meses después.

3.14.3 Acumulación de biomasa. Se calculó a partir de cuatro muestras por unidad experimental, para un total de cuarenta y ocho muestras, cada muestra estaba compuesta por un individuo completo (planta) tomado al azar, al cual se le peso por separado la raíz, el tallo y las acículas. Las muestras se extrajeron cinco meses después del establecimiento de la plantación.

3.14.4 Producción de biomasa del *Pinus patula* en el proyecto. Para este procedimiento se necesitó de cuatro muestras (plántulas), por cada tratamiento y sus respectivas repeticiones, dichas muestras fueron tomadas aleatoriamente de las plántulas producidas.

3.14.5 Eficiencia en la Fertilización del *Pinus patula* en el proyecto. La eficiencia en la fertilización se calculó gracias a la metodología de Dobermann (2007), con la siguiente ecuación.

$$EA = \frac{RT_F - RT_T}{NT_A} \times 100$$

RT_F = Gramos de materia seca producidos en el tratamiento con fertilización.

RT_T = Gramos de materia seca producidos en el tratamiento sin fertilización.

NT_A = Gramos de nutriente aplicado en la fertilización.

3.15 Contenido foliar del *Pinus patula* en el proyecto

El contenido foliar de las plántulas de *Pinus patula* sembradas en el proyecto se obtuvo por medio del laboratorio de Análisis de Tejido Vegetal completo (elementos mayores y menores). Para el

análisis se recolectaron cuarenta y ocho muestras, cuatro de cada tratamiento, dichas muestras fueron tomadas aleatoriamente entre las plántulas producidas en todas las repeticiones.

Según Karla, (1998) una planta que se encuentra en condiciones normales cuando presentan los siguientes valores: N (2.5 % - 4.5%), P (0.20% – 0.75%), K (1.5% - 5.5%), Ca (1%– 4%), Mn (20 – 300ppm), Cu (5ppm – 30ppm), Mg (0.25% - 1%), Zn (27ppm – 100ppm) y Fe (100 – 500ppm).

3.16 Extracción de nutrientes del *Pinus patula* en el proyecto

Se calculó con los valores del laboratorio de análisis de tejido vegetal completo y el peso promedio obtenido. Las dos variables se calcularon con las plántulas de *Pinus patula* del proyecto.

3.17 Tabulación de Datos

Los datos se tabularon con la ayuda de Microsoft Excel (2016).

3.18 Análisis Estadístico

El procesamiento de datos se realizó con la ayuda de software estadístico ADVANCED ANALYTICS SOFTWARE (SAS), se implementa la prueba de rangos múltiples de Tukey para la separación de medias (Steel, Torrie y Martínez, 1992). Con una significancia menor o igual al 0,05.

4 Resultados

4.1 Análisis foliar inicial

El análisis foliar inicial muestra déficit de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y boro; en condiciones normales el hierro, cobre, zinc, y el único en exceso es el manganeso.

Tabla 5.
Análisis foliar inicial.

%		PPM (mg/kg)						
P	N	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
2.0400	1.0345	0.888	1.177	0.215	142.25	259.75	11.7425	27.22

4.2 Análisis de suelos

El suelo en donde se establece la plantación es del orden inceptisol, presenta un pH de 7.2 el cual es considerado adecuado para el cultivo de Pino, este posee contenidos medios de nitrógeno por acción de la materia orgánica. Los elementos fósforo, magnesio, boro, manganeso, cobre y zinc presentan niveles bajos. Por el contrario, en los elementos hierro, calcio y azufre se encuentran altos contenidos, teniendo calcio y magnesio una relación balanceada, los elementos sodio y potasio se encuentran en un nivel adecuado. Es posible decir que este suelo posee una capacidad de intercambio catiónico alta y una conductividad eléctrica ideal. La textura del suelo es Franco – Arenosa y se hace apta para la plantación de *Pinus patula*.

Tabla 6.
Análisis de suelos.

ANÁLISIS DE SUELOS		
Variable	Valor	Interpretación
pH	7,2	Neutro
Fosforo disponible (P)	8,43 ppm	Bajo
Calcio (Ca)	20,3 meq/100g	Alto
Magnesio (Mg)	0,51 meq/100g	Bajo
Sodio (Na)	0,12 meq/100g	Adecuado
Potasio (K)	0,23 meq/100g	Adecuado
Boro (B)	0,08 ppm	Bajo
Hierro (Fe)	56,0 ppm	Alto
Manganeso (Mn)	2,09 ppm	Bajo
Cobre (Cu)	0,85 ppm	Bajo
Zinc (Zn)	1,25 ppm	Bajo
Azufre (S)	17,0 ppm	Alto
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	34,0 meq/100g	Alto
Conductividad Eléctrica (CE)	0,21 mmhos/cm	Ideal
Textura	Franco-Arenoso	

4.3 Variables

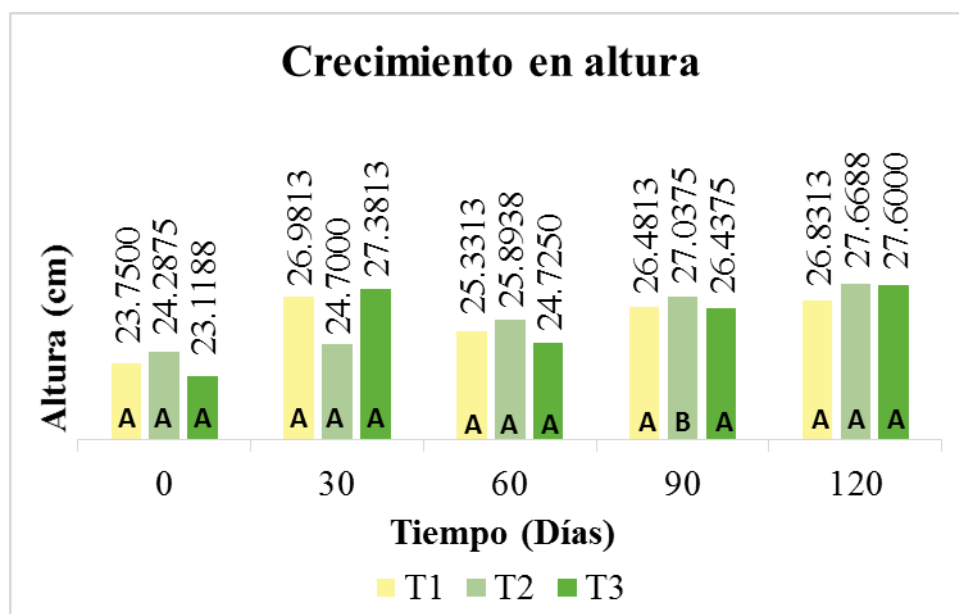
En las ANDEVA (Apéndice 1- 80) se muestran las diferencias estadísticas ($P < 0.05$) utilizando la prueba de rangos múltiples de Tukey.

4.3.1 Altura. Para la variable altura no se presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), aunque es notable que el tratamiento dos un mayor crecimiento con 27.668 cm de alto. Igualmente se observa que la toma de datos a los 90 días se presentó algunas diferencias significativas en tratamientos dos (Tabla 87).

Tabla 7.
Altura.

Tratamiento	Día 0 (cm)	Día 30 (cm)	Día 60 (cm)	Día 90 (cm)	Día 120 (cm)
T1	23.7500 ^a	26.9813 ^a	25.3313 ^a	26.4813 ^a	26.8313 ^a
T2	24.2875 ^a	24.7000 ^a	25.8938 ^a	27.0375 ^b	27.6688 ^a
T3	23.1188 ^a	27.3813 ^a	24.7250 ^a	26.4375 ^a	27.6000 ^a

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.



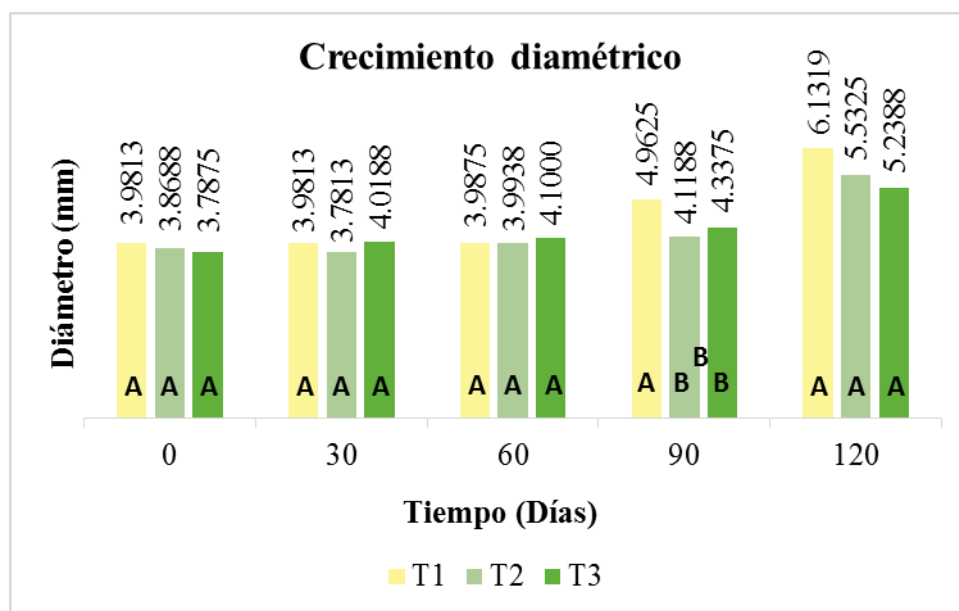
Gráfica 1. Altura.

4.3.2 Diámetro. El diámetro no se presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), aunque es notable que el tratamiento 1 (sin fertilización) muestra un mayor crecimiento dimétrico con 6.1319mm (Tabla 8).

Tabla 8.
Diámetro.

Tratamiento	Día 0 (mm)	Día 30 (mm)	Día 60 (mm)	Día 90 (mm)	Día 120(mm)
T1	3.9813 ^a	3.9813 ^a	3.9875 ^a	4.9625 ^a	6.1319 ^a
T2	3.8688 ^a	3.7813 ^a	3.9938 ^a	4.1188 ^a	5.5325 ^a
T3	3.7875 ^a	4.0188 ^a	4.1000 ^a	4.3375 ^a	5.2388 ^a

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.



Gráfica 2. Diámetro.

4.4 Contenido vegetal final

Los laboratorios realizados fueron: Kjeldahl – Trimétrico; Digestión tejido vegetal vía seca y cuantificación espectrofotométrica UV-Visible; Digestión tejido vegetal vía seca y cuantificación espectrofotométrica absorción atómica; Calcinación a 540°C y cuantificación método de Azometina-H; Digestión vía húmeda - abierta y cuantificación turbimétrica, estos fueron llevados

a cabo en el laboratorio de Reconversión ganadera y agroforestal de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga (Sadzawka, 2004).

En el tallo se observa:

Tratamiento 1: en condiciones normales se encuentran el fósforo, calcio, potasio, manganeso, cobre, hierro, y zinc. En déficit de nutriente está el nitrógeno y el magnesio.

Tratamiento 2 presenta condiciones normales en fósforo, calcio, potasio, hierro, manganeso y cobre, déficit nutricional en nitrógeno, magnesio y zinc. Excesos en manganeso y cobre.

Tratamiento 3 se presentan condiciones normales en fósforo, calcio, potasio, hierro, manganeso y cobre, además se presenta déficit en nitrógeno, magnesio y zinc.

Tabla 9.
Contenidos foliares tallo.

Tratamiento	%			PPM (mg/kg)						
	P	N	C	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
T1	0.2468 ^b	1.0345 ^b	40.875 ^c	0.888 ^c	1.177 ^c	0.215 ^a	142.25 ^a	259.75 ^a	11.7425 ^a	27.22 ^a
T2	0.413 ^a	1.328 ^a	44.923 ^a	1.617 ^a	1.672 ^a	0.176 ^b	134.500 ^b	211.250 ^b	9.455 ^b	24.535 ^b
T3	0.432 ^a	1.390 ^a	43.960 ^b	1.553 ^b	2.409 ^b	0.198 ^a	127.500 ^b	187.250 ^b	6.978 ^c	20.708 ^c

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.

En la acícula encontramos:

Tratamiento 1: en condiciones normales se encuentran el fosforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, y zinc. En déficit de nutriente está el nitrógeno y en exceso el manganeso y el cobre.

Tratamiento 2: en condiciones normales se encuentran el fosforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, y zinc. En déficit de nutriente está el nitrógeno y en exceso el manganeso y el cobre.

Tratamiento 3: se presentan condiciones normales en fósforo, calcio, potasio, hierro, cobre y zinc; se presenta déficit en nitrógeno y magnesio, en exceso se encuentra el manganeso.

Tabla 10.
Contenidos foliares acícula.

Tratamiento	%			PPM (mg/kg)						
	P	N	C	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
T1	0.5938 ^c	1.7505 ^c	44.843 ^c	0.504 ^c	1.166 ^c	0.270 ^a	225.75 ^a	464.25 ^a	17.8225 ^a	36.825 ^a
T2	0.634 ^b	1.813 ^b	45.965 ^b	1.701 ^b	1.659 ^b	0.214 ^b	182.500 ^b	345.000 ^b	16.440 ^b	31.935 ^b
T3	0.795 ^a	2.275 ^a	47.748 ^a	1.177 ^a	2.399 ^a	0.170 ^c	166.000 ^c	314.500 ^b	14.755 ^c	28.805 ^c

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.

En la raíz se observa:

Tratamiento 1: en condiciones normales se encuentran el fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, calcio, potasio, magnesio y zinc, ya para el exceso de nutriente está en manganeso y cobre. En déficit se encuentra el nitrógeno.

Tratamiento 2: en condiciones normales se encuentran los siguientes elementos: el fósforo, calcio, hierro, calcio, potasio, magnesio y zinc, ya para el exceso de nutriente está en manganeso. En déficit se encuentra el nitrógeno y magnesio.

Tratamiento 3: se encuentran el fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, calcio, potasio, magnesio y zinc. En déficit se encuentra el nitrógeno, magnesio y zinc.

Tabla 11.
Contenidos foliares raíz.

Tratamiento	%			PPM (mg/kg)						
	P	N	C	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
T1	0.3206 ^c	1.14 ^c	47.830 ^a	0.541 ^c	1.305 ^c	0.084 ^b	181.25 ^a	380.25 ^a	16.15 ^a	31.245 ^a
T2	0.472 ^b	1.533 ^b	42.800 ^b	2.195 ^a	1.659 ^b	0.148 ^a	167.750 ^b	314.750 ^b	15.390 ^b	29.180 ^b
T3	0.536 ^a	1.358 ^a	35.173 ^c	2.316 ^b	1.736 ^a	0.160 ^a	158.500 ^b	274.250 ^c	13.763 ^c	26.828 ^c

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.

En el contenido foliar total se observa:

Tratamiento 1: en condiciones normales se encuentran nitrógeno, calcio, potasio, magnesio y zinc. en exceso el fósforo, hierro, manganeso y cobre.

Tratamiento 2: en condiciones normales se encuentran los siguientes elementos: el nitrógeno, potasio, magnesio, hierro y zinc, en exceso de nutriente está en manganeso, fósforo, calcio y cobre.

Tratamiento 3: se presentan condiciones normales en nitrógeno, hierro, magnesio y zinc. En exceso se encuentra el fósforo, calcio, potasio, manganeso y cobre.

Tabla 12.
Contenidos foliares total.

Tratamiento	%					PPM (mg/kg)				
	P	N	C	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
T1	1.1611 ^c	3.925 ^c	133.548 ^a	1.933 ^c	3.648	0.569 ^b	549.25 ^a	1104.25 ^a	45.715 ^a	95.29 ^a
T2	1.519 ^b	4.673 ^b	133.688 ^a	5.513 ^a	4.99	0.537 ^a	484.750 ^b	871.000 ^b	41.285 ^b	85.650 ^b
T3	1.763 ^a	5.023 ^a	126.880 ^b	5.046 ^b	6.544	0.528 ^a	452.000 ^c	776.000 ^c	35.495 ^c	76.340 ^c

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.

4.4.1 Absorción de nutrientes.

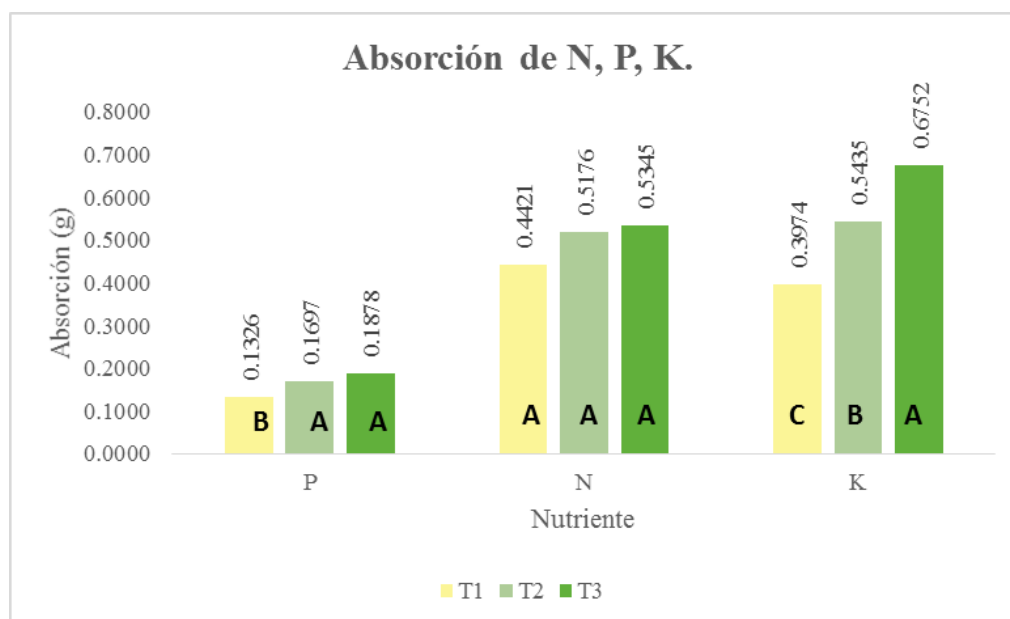
4.4.1.1 Macronutrientes.

4.4.3.1.1 Fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K). El fósforo y nitrógeno no presentan diferencias significativas ($P < 0.05$), en el caso del potasio presenta diferencias significativas ($P < 0.05$). Para estos nutrientes observamos que el tratamiento 3 fue absorbido en mayor cantidad (Tabla 13).

Tabla 13.
Macronutrientes (Fósforo, nitrógeno y potasio).

Tratamiento	P_tallo (g)	P_acicula (g)	P_raíz (g)	P (g)	N_tallo (g)	N_acicula (g)	N_Raíz (g)	N (g)	K_tallo (g)	K_acicula (g)	K_raíz (g)	K (g)
T1	0.026 ^b	0.075 ^a	0.031 ^b	0.131 ^b	0.112 ^b	0.226 ^a	0.110 ^b	0.448 ^a	0.125 ^c	0.149 ^b	0.126 ^b	0.401 ^c
T2	0.041 ^a	0.084 ^a	0.044 ^a	0.170 ^{ab}	0.132 ^a	0.241 ^a	0.144 ^a	0.518 ^a	0.166 ^b	0.221 ^b	0.156 ^a	0.544 ^b
T3	0.039 ^a	0.100 ^a	0.049 ^a	0.188 ^a	0.123 ^a	0.287 ^a	0.124 ^b	0.535 ^a	0.214 ^a	0.303 ^a	0.158 ^a	0.675 ^a

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.



Gráfica 3. Absorción nitrógeno, fósforo y potasio.

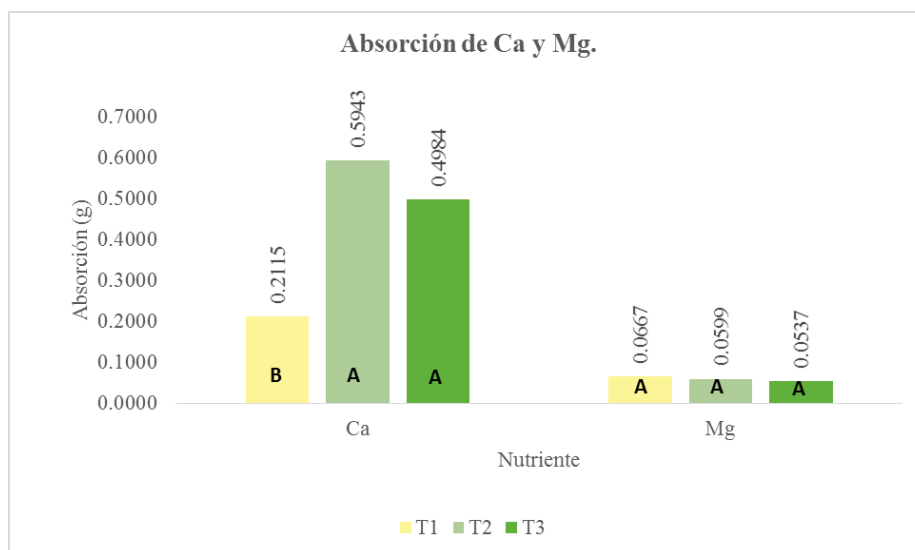
4.4.1.1.2 Calcio (Ca) y magnesio (Mg). El magnesio no presenta diferencias significativas ($P < 0.05$), para el caso de este nutriente el tratamiento 3 presenta mayor absorción. En el caso del calcio si presenta diferencias significativas ($P < 0.05$), este nutriente tuvo una mayor absorción en el tratamiento 2 (Tabla 14).

Tabla 14.

Calcio (Ca) y magnesio (Mg).

Tratamiento	Ca_tallo (g)	Ca_acicula (g)	Ca_raíz (g)	Ca (g)	Mg_tallo (g)	Mg_acicula (g)	Mg_Raíz (g)	Mg (g)
T1	0.0946 ^b	0.0646 ^c	0.0522 ^b	0.2115 ^b	0.0230 ^a	0.0352 ^a	0.0085 ^b	0.0667 ^a
T2	0.1608 ^a	0.2269 ^a	0.2066 ^a	0.5943 ^a	0.0175 ^b	0.0286 ^a	0.0139 ^a	0.0599 ^a
T3	0.1381 ^a	0.1487 ^b	0.2117 ^a	0.4984 ^a	0.0176 ^b	0.0215 ^b	0.0146 ^a	0.0537 ^a

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.



Gráfica 4. Absorción calcio y magnesio.

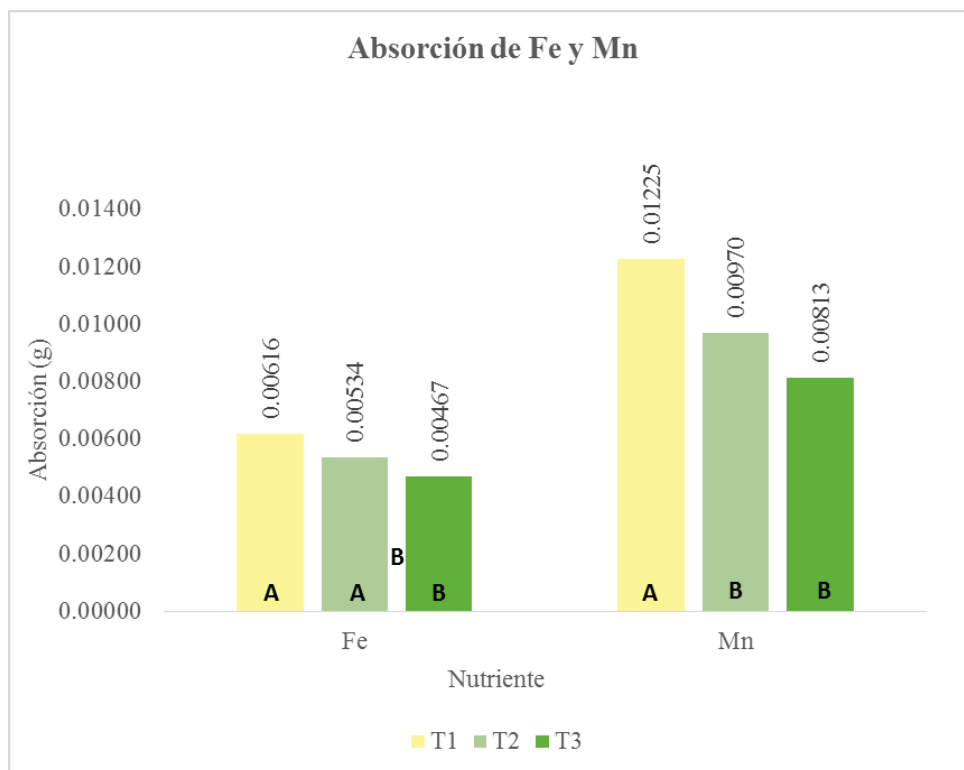
4.4.1.2 Micronutrientes.

4.4.1.2.1 Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn). El hierro no presenta diferencias significativas ($P < 0.05$), el manganeso presenta diferencias significativas ($P < 0.05$), para estos dos nutrientes se observó mayor absorción en el tratamiento 1 (Tabla 15).

Tabla 15.
Micronutrientes (Fe y Mn).

Tratamiento	Fe_tallo (g)	Fe_acicula (g)	Fe_raíz (g)	Fe (g)	Mn_tallo (g)	Mn_acicula (g)	Mn_Raíz (g)	Mn (g)
T1	0.00151 ^a	0.00291 ^a	0.00173 ^a	0.00616 ^a	0.00266 ^a	0.00583 ^a	0.00376 ^a	0.01225 ^a
T2	0.00134 ^a	0.00242 ^a	0.00158 ^a	0.00534 ^a	0.00210 ^b	0.00463 ^a	0.00296 ^b	0.00970 ^b
T3	0.00113 ^b	0.00209 ^b	0.00145 ^b	0.00467 ^b	0.00166 ^c	0.00398 ^b	0.00250 ^c	0.00813 ^b

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.



Gráfica 5. Absorción hierro y manganeso.

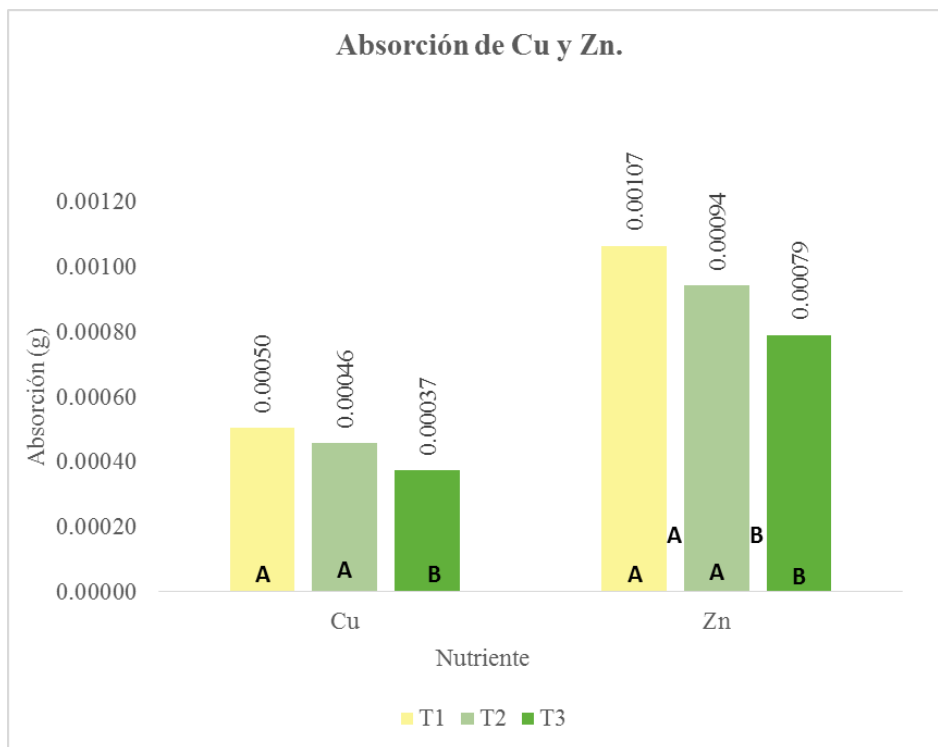
4.4.1.1.1 Cobre (Cu) y zinc (Zn). El zinc no presenta diferencias significativas ($P < 0.05$), el cobre presenta diferencias significativas ($P < 0.05$), para estos dos nutrientes se observó mayor absorción en el tratamiento 1 (Tabla 16).

Tabla 16.

Cobre (Cu) y Zinc (Zn).

Tratamiento	Cu_tallo (g)	Cu_acicula (g)	Cu_raíz (g)	Cu (g)	Zn_tallo (g)	Zn_acicula (g)	Zn_Raíz (g)	Zn (g)
T1	0.00012 ^a	0.00022 ^a	0.00016 ^a	0.00050 ^a	0.00029 ^a	0.00048 ^a	0.00030 ^a	0.00107 ^a
T2	0.00009 ^a	0.00022 ^a	0.00014 ^b	0.00046 ^a	0.00024 ^b	0.00043 ^a	0.00027 ^a	0.00094 ^a
T3	0.00006 ^a	0.00019 ^a	0.00013 ^b	0.00037 ^b	0.00018 ^b	0.00036 ^b	0.00024	0.00079 ^b

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.



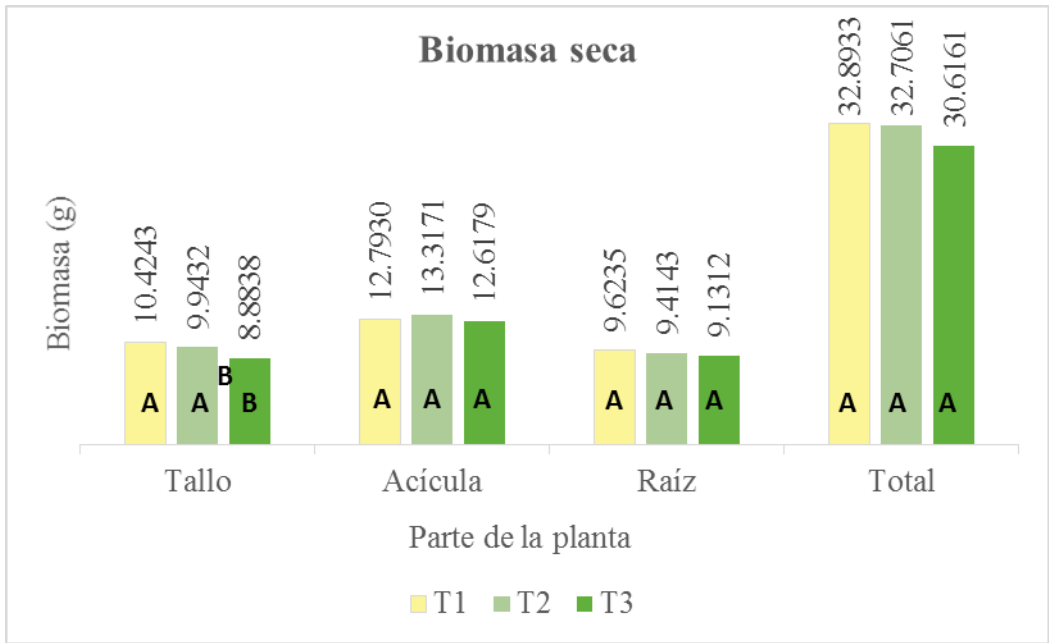
Gráfica 6. Absorción cobre y Zinc.

4.4.1 Biomasa. La biomasa seca no muestra diferencias significativas ($P < 0.05$), se observa que se obtiene mayor cantidad de biomasa con 32.8933g por planta en el tratamiento 1, aunque es visible una mayor cantidad de biomasa en la acícula en el tratamiento 2 (Tabla 17).

Tabla 17.
Biomasa seca.

Tratamiento	Tallo	Acícula	Raíz	Total
T1	10.4243 ^a	12.7930 ^a	9.6235 ^a	32.8933 ^a
T2	9.9432 ^a	13.3171 ^a	9.4143 ^a	32.7061 ^a
T3	8.8838 ^b	12.6179 ^a	9.1312 ^a	30.6161 ^a

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.



Gráfica 7. Biomasa.

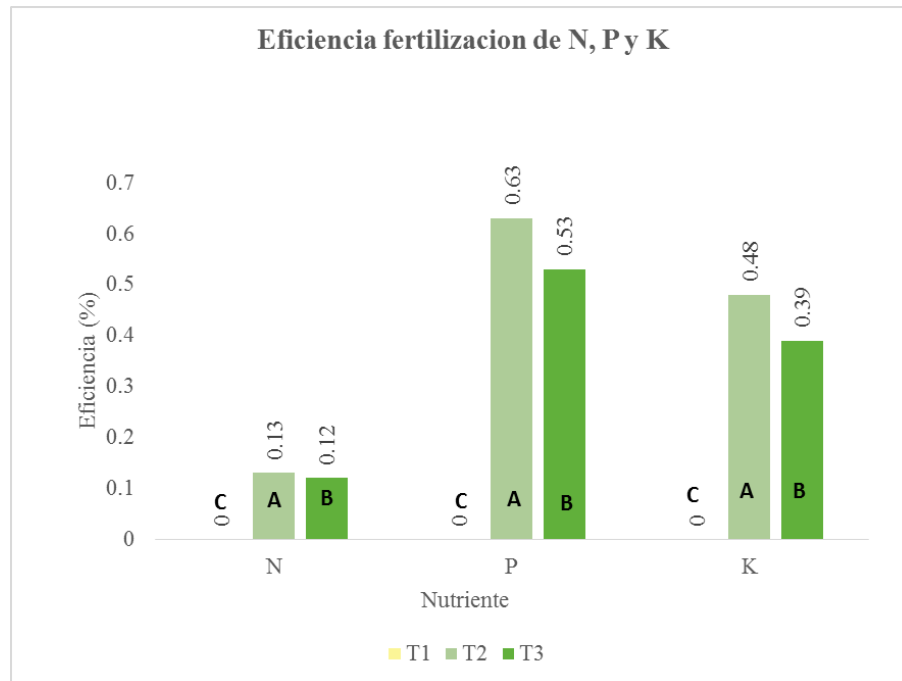
4.5 Eficiencia de la fertilización

La eficiencia de fertilización muestra diferencias significativas ($P < 0.05$), se observa que se obtiene mayor porcentaje de esta en nitrógeno, fosforo y potasio por planta en el tratamiento 2 (fertilización +25) con valores de 0.13%, 0.63% y 0.48% respectivamente (Tabla 18).

Tabla 18.
Eficiencia de la fertilización.

Tratamiento	N(%)	P(%)	K(%)
T1	0 ^c	0 ^c	0 ^c
T2	0.0013 ^a	0.0063 ^a	0.0048 ^a
T3	0.0012 ^b	0.0053 ^b	0.0039 ^b

Nota: Letras iguales no presenta diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias significativas.



Gráfica 8. Eficiencia de la fertilización.

4.6 Costo de fertilizante

El mayor costo se evidencio en el tratamiento 3 (463 pesos), seguido por el tratamiento 2 (222 pesos) y finalmente el tratamiento 1 (0 pesos) cuyos resultados producción de biomasa y diámetro nos arrojaron mejores resultados frente a los otros tratamientos.

Se establece un valor por planta para el tratamiento 2 de \$887 y para el tratamiento 3 de \$1.852 para las cuatro aplicaciones de fertilizantes realizadas (Tabla 19 y 20).

Tabla 19.
Valor de fertilizantes.

Fertilizante	Precio por kg (\$)	Precio por g (\$)
Urea	3000	3
KCL	2500	2.5
DAP	2500	2.5
Azufre	1500	1.5

Tabla 20.
Valor de fertilizante por planta.

Tratamientos	Valor de fertilizante por planta				Precio total (\$)
	Urea (\$)	KCL (\$)	DAP (\$)	Azufre (\$)	
T1	0	0	0	0	0
T2	149	36	35	2	222
T3	300	81	77	5	463

5 Discusión

Cáceres (2017) en su estudio sobre la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en plantaciones de *Pinus radiata*, en tres sitios de la región sierra ecuatoriana, presentan suelos texturalmente iguales (franco-arenosos) a nuestro estudio. Además, se encontró que el fósforo se encuentra en porcentajes altos, el potasio en valores medios y el nitrógeno en valores altos, ya que debido a la ubicación de sus suelos por ser volcánicos jóvenes ayudan a la estabilidad de los elementos, por el contrario comparado con nuestro proyecto, se presentan valores medios en potasio, en fósforo se presenta exceso y en nitrógeno se presenta un valor intermedio o normal que pueden estar relacionados por los nutrientes presentes en el suelo y los aplicados a la plantación.

Esquivel (2016) en su estudio sobre la sustentabilidad en el uso de nutrientes de plantaciones dendroenergéticas en dos suelos marginales de la región de Biobío, Chile habla sobre la producción de estas plantaciones en donde, bajo condiciones de mejor estado nutricional estos cultivos han demostrado un mayor crecimiento, a comparación con nuestro proyecto se evidenció que no siempre al aplicar mayor cantidad de nutrientes se va a obtener un mejor crecimiento, ya que nos arrojó resultados de que el tratamiento 2 con absorción inicial +25% era el indicado para proporcionar un excelente desarrollo en la planta.

Herrera (2003) en su estudio efecto de la fertilización en las plantaciones de *Pinus radiata* en Lasso Cotopaxi, no encontró significancia referente a la variable crecimiento dimétrico y obtuvo un coeficiente de variación del 17,74%, en el cual demostró que los diferentes minerales no fueron alcanzados por las plantas, ya que poseen un sistema radicular limitado y no se encontraban totalmente libre del envase, poseen suelos con textura y pH iguales a nuestro proyecto, además, al comparar con nuestra investigación se evidenció que igualmente que el caso anterior no se presentaron diferencias significativas y se obtuvo un coeficiente de variación del 9,73 % , el diámetro fue una de las variables que arrojó mejores resultados sin fertilización, probablemente porque la plantación es relativamente joven, pero aun así se mostró un buen desarrollo.

6 Conclusiones

Al ser una plantación de corta edad no es posible observar resultados concretos ya que el desarrollo radicular del *Pinus patula*, así como la adaptación al medio, es lento, en donde se evidencia que la aplicación de los fertilizantes utilizados no influyó significativamente en el aumento de producción de biomasa.

Al aplicar mayor cantidad de fertilizante aumenta positivamente el contenido de nutrientes en plantaciones de *Pinus patula*, con lo que se demuestra la importancia de un buen plan de fertilización en plantaciones de este tipo.

El incremento en los costos por fertilización con UREA, DAP y KCl no reflejan una ganancia en cultivos de *Pinus patula* por lo cual no es viable implementar únicamente este tipo de fertilización para obtener mayor productividad.

7 Recomendaciones

Se propone aumentar el estudio de investigaciones en *Pinus patula* en la región con el fin de ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de las plantaciones con fines comerciales con modelos silviculturales.

Se recomienda utilizar el tratamiento 2 (fertilización +25) para próximos estudios que proporcionen alternativas al productor para maximizar la rentabilidad en plantaciones de *Pinus patula*.

Es importante que el periodo de medición de variables se amplié para así obtener resultados más concretos de producción de biomasa además de optar por realizar perfiles de ahusamiento.

Referencias bibliográficas

- Apella, C. M., & Araujo, Z. P. (2005). *Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua*. Recuperado de: http://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf
- Ayúzar, A. (2005). *Requerimientos nutricionales de energía y macronutrientes*. Recuperado de: <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/11336/CC-77%20art%205.pdf?sequence=1>
- Badii, M. H., Rodríguez, M. C., Wong, A., & Villalpando, P. (2017). Diseños experimentales e investigación científica. *Revista Innovaciones de Negocios*, 4(8), 283-330. Recuperado de: <http://revistainnovaciones.uanl.mx/index.php/revin/article/view/190>
- Barreto Sánchez, L. H., & León Peláez, J. D. (2005). Masa total y contenido de nutrientes en raíces finas de ecosistemas forestales (*Pinus patula* Schltdl y *Cham Cupressus lusitanica* Mill y *Quercus humboldtii* Bonpl.) de Piedras Blancas, Antioquia-Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(2), 2007-2930. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24250>
- Bladimir, H. R. J. (2013). *Efecto de la fertilización en las plantaciones de pino Pinus radiata (D. DON) en Lasso Cotopaxi*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 1731 31 de Julio de 2014, Diario Oficial No. 49.229 (2014).
- Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 811 26 de Junio de 2003, Diario Oficial No. 48.102 (2003).
- Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 99 22 de Diciembre de 1993, Diario Oficial No. 41.146 (1993).
- Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 1351 13 de Agosto de 2009, Diario Oficial No. 47.409 (2009).
- Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 1286 23 de Enero de 2009, Diario Oficial No. 47.241 (2009).
- Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 139 22 de Junio de 1994, Diario Oficial No. 41.401 (1994).

- Cáceres Alvaran, H. F. (2017). *Evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en plantaciones de pinus radiata, en tres sitios de la Región Sierra Ecuatoriana* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Chávez-Aguilar, G., Ángeles-Pérez, G., Pérez-Suárez, M., López-López, M. Á., García-Moya, E., & Wayson, C. (2016). Distribución de biomasa aérea en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Revista Madera y bosques*, 22(3), 23-36. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712016000300023&script=sci_arttext&tlng=pt
- Esquivel-Segura, E., Rubilar-Pons, R., Sandoval-Rocha, S., Acuña-Carmona, E., Cancino-Cancino, J., Espinosa-Bancalari, M., & Muñoz-Sáez, 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: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2573>
- Gàndara, A. S. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable*. Recuperado de: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=L8v8CRDFm-oC&oi=fnd&pg=PA9&dq=G%C3%A0ndara,+A.+S.+\(2011\).+Conceptos+b%C3%A1sicos+de+gesti%C3%B3n+ambiental+y+desarrollo+sustentable.+Instituto+Nacional+de+Ecolog%C3%ADa.&ots=eazHo20902&sig=IUpwtkwHU_R-dB5PZPGOa5aIz4s#v=onepage&q=G%C3%A0ndara%2C%20A.%20S.%20\(2011\).%20Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20gesti%C3%B3n%20ambiental%20y%20desarrollo%20sustentable.%20Instituto%20Nacional%20de%20Ecolog%C3%ADa.&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=L8v8CRDFm-oC&oi=fnd&pg=PA9&dq=G%C3%A0ndara,+A.+S.+(2011).+Conceptos+b%C3%A1sicos+de+gesti%C3%B3n+ambiental+y+desarrollo+sustentable.+Instituto+Nacional+de+Ecolog%C3%ADa.&ots=eazHo20902&sig=IUpwtkwHU_R-dB5PZPGOa5aIz4s#v=onepage&q=G%C3%A0ndara%2C%20A.%20S.%20(2011).%20Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20gesti%C3%B3n%20ambiental%20y%20desarrollo%20sustentable.%20Instituto%20Nacional%20de%20Ecolog%C3%ADa.&f=false)
- García Gabarra, A. (2006). Ingesta de nutrientes: Conceptos y Recomendaciones Internacionales (2ª parte). *Revista Nutrición Hospitalaria*, 21(4), 437-447. Recuperado de: <http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21n4/revision1.pdf>
- García, J. L., & Martínez, M. J. (2014). Biomasa y Biotecnología. *Revista Semicrobiología*, 1(58), 45-47. Recuperado de: http://crinoidea.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/58/18_AB4T4_Garcia_Martinez.pdf
- Hernández-Navarrete, M. J., Celorrio-Pascual, J. M., Moros, C. L., & Bernad, V. M. S. (2014). Fundamentos de antisepsia, desinfección y esterilización. *Revista enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 32(10), 681-688. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213005X14001839>
- Herrera Ramirez, J. B. (2012). *Efecto De La Fertilización En Las Plantaciones* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Recuperado de: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19670604180>
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/>

- 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=S6Q9XII7Y&sig=CjvujIqt_qeiIY7cokxqmO0QDXc#v=onepage&q=Handbook%20of%20reference%20methods%20for%20plant%20analysis.&f=false
- Lázaro-Dzul, M. O., Velázquez-Mendoza, J., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., Álvarez-Sánchez, M. E., & López-López, M. A. (2012). Fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(1), 33-42. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v18n1/v18n1a4.pdf>
- Lazcano-Ferrat, I. (2006). El potasio y el concepto de la fertilización balanceada. *Revista Inpofos-PPI* V.5, 1-6. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Ignacio_Lazcano-Ferrat/publication/238736443_EL_POTASIO_Y_EL_CONCEPTO_DE_LA_FERTILIZACION_BALANCEADA/links/56e32cb108ae65dd4cbac2f9/EL-POTASIO-Y-EL-CONCEPTO-DE-LA-FERTILIZACION-BALANCEADA.pdf
- León-Gamboa, A. L., Ramos, C., & García, M. R. (2010). Efecto de plantaciones de pino en la artropofauna del suelo de un bosque Altoandino. *Revista de Biología Tropical*, 58(3), 1031-1048. Recuperado de: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000300016
- Orozco-Jaramillo, C., & Martínez-Nieto, P. (2009). Evaluación de la inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos aislados de la rizósfera de *Pinus patula* en Colombia. *Revista SciELO Analytics* 30(2), 70-77. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-92002009000200002&script=sci_arttext&tlng=e
- Osorio, N. W. (2012). pH del Suelo y Disponibilidad de Nutrientes. *Revista Manejo integral del suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4. Recuperado de: <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Ospina, C., Hernández, R., Rincón, E., Sánchez, F., Urrego, J., Rodas, C., Ramírez, C., & Riaño, N. (2011). *El pino patula. Manizales – Colombia*. Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/pinus.pdf>
- Pita Fernández, S., & Pértiga Díaz, S. (1997). Relación entre variables cuantitativas. *Cad Aten Primaria*, V.4, 1-4. Recuperado de: http://www.fisterra.com/gestor/upload/guias/var_cuantitativas2.pdf
- Prochnow, L., de Moraes, M. F., & Stipp, S. (Mayo de 2009). Micronutrientes. En F. García (Presidente). *Fertilidad 2009 Mejores Prácticas de Manejo para una Mayor Eficiencia en la Nutrición de Cultivos IPNI*, Rosario, Argentina.

- Rodriguez Quilón, I., Adam, G., & Durán, J. M. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78(912), 836-842. Recuperado de: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/37372/1/articulo%20definitivo%20agricultura%20nov.pdf>
- Rojas Restrepo, J. J. (2015). *Fertilidad de suelos en plantaciones forestales del trópico colombiano* (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Medellín, Colombia.
- Sadzawka, A., Grez, R., Carrasco, A., & Mora, M. L. (2004). *Métodos de análisis de tejidos vegetales*. Recuperado de: https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=M%C3%A9todos+de+an%C3%A1lisis+de+tejidos+vegetales.+Comisi%C3%B3n+de+Normalizaci%C3%B3n+y+Acreditaci%C3%B3n+%28CNA%29+de+la+Sociedad+Chilena+de+la+Ciencia+del+Suelo.+53+p.+Chile.+&btnG=
- Sánchez, T. M. (2010). Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Pampa*, V.21, 29-36. Recuperado de: <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/rev-agro/v21a03sanchez.pdf>
- Santiago-García, W., los Santos-Posadas, D., Manuel, H., Ángeles-Pérez, G., Valdez-Lazalde, J. R., Corral-Rivas, J. J., & Santiago-García, E. (2015). Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para *Pinus patula*. *Revista Madera y bosques*, 21(3), 95-110. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712015000300007&script=sci_arttext&tlng=en
- Santiago-García, W., los Santos-Posadas, D., Héctor, M., Ángeles-Pérez, G., Corral-Rivas, J. J., Valdez-Lazalde, J. R. & David, H. (2014). Predicción del rendimiento maderable de *Pinus patula* Schl. et Cham. a través de modelos de distribución diamétrica. *Revista Agrociencia*, 48(1), 87-101. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000100006
- Tarazona Méndez, J. D. C. (2012). Potencial económico del pino patula, en municipio Cerrito, Santander. (Tesis pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Málaga, Colombia.
- Vásquez García, I., López López, M. Á., Ángeles Pérez, G., Trinidad Santos, A., Jiménez Casas, M., & Aguilar Benítez, G. (2015). Aclareo y fertilización química en la productividad primaria neta de plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(31), 82-93. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322015000500007&script=sci_arttext&tlng=pt
- Velasco Velasco, V. A. (1999). Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Revista Terra Latinoamericana*, 17(3), 193-200. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317303.pdf>

White, A., & Martin, A. (2002). *Who owns the world's forests*. Recuperado de: <https://www.era-mx.org/biblio/politica/ForestTenure.pdf>

Zunino, M., & Palestrini, C. (1991). El concepto de especie y la biogeografía. *Revista Anales de biología*, V.17, 85-88. Recuperado de: [https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/2068/1/AB17%20\(1991\)%20p%2085-88.pdf](https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/2068/1/AB17%20(1991)%20p%2085-88.pdf)

Apéndices

Apéndice 1. ANDEVA diámetro a los 90 días.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	1.53385417	0.76692708	4.75	0.039
Error	9	1.45171875	0.16130208		
Total	11	2.98557292			

C.V	8.979025
-----	----------

Apéndice 2. ANDEVA diámetro a los 120 días.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	1.65761563	0.82880781	2.76	0.1164
Error	9	2.70539844	0.30059983		
Total	11	4.36301406			

C.V	9.730802
-----	----------

Apéndice 3. ANDEVA altura a los 120 días.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	72.0294792	36.0147396	3	0.1002
Error	9	107.9371875	11.9930208		
Total	11	179.9666667			

C.V	14.82066
-----	----------

Apéndice 4. ANDEVA biomasa total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	12.78413405	6.39206702	0.7	0.5222
Error	9	82.29915556	9.14435062		
Total	11	95.08328961			

C.V	9.428718
-----	----------

Apéndice 5. ANDEVA fósforo en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.08342018	0.04171009	80.17	<.0001
Error	9	0.00468267	0.0005203		
Total	11	0.08810285			

C.V	6.264047
-----	----------

Apéndice 6. ANDEVA fósforo en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.09056267	0.04528133	116.1	<.0001
Error	9	0.00351025	0.00039003		
Total	11	0.09407292			
C.V		2.929774			

Apéndice 7. ANDEVA fósforo en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.09743213	0.04871606	99.19	<.0001
Error	9	0.00442044	0.00049116		
Total	11	0.10185256			
C.V		5.006975			

Apéndice 8. ANDEVA fósforo total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.73234326	0.36617163	151.66	<.0001
Error	9	0.02173001	0.00241445		
Total	11	0.75407327			
C.V		3.318162			

Apéndice 9. ANDEVA nitrógeno en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.28818067	0.14409033	143.26	<.0001
Error	9	0.009052	0.00100578		
Total	11	0.29723267			
C.V		2.535768			

Apéndice 10. ANDEVA nitrógeno en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.657134	0.328567	411.39	<.0001
Error	9	0.007188	0.00079867		
Total	11	0.664322			
C.V		1.452245			

Apéndice 11. ANDEVA nitrógeno en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.30931667	0.15465833	392.09	<.0001
Error	9	0.00355	0.00039444		
Total	11	0.31286667			
C.V		1.478458			

Apéndice 12. ANDEVA nitrógeno total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	2.51435	1.257175	541.99	<.0001
Error	9	0.020876	0.00231956		
Total	11	2.535226			
C.V		1.060832			

Apéndice 13. ANDEVA potasio en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	3.0733323	1.53666615	9931.38	<.0001
Error	9	0.00139255	0.00015473		
Total	11	3.07472486			
C.V		0.709792			

Apéndice 14. ANDEVA potasio en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	3.08245086	1.54122543	14373.9	<.0001
Error	9	0.00096502	0.00010722		
Total	11	3.08341588			
C.V		0.594562			

Apéndice 15. ANDEVA potasio en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.42305041	2.149615	186.54	<.0001
Error	9	0.01020549	0.00113394		
Total	11	0.4332559			
C.V		2.149615			

Apéndice 16. ANDEVA potasio total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	16.80596842	8.40298421	5669.82	<.0001
Error	9	0.01333849	0.00148205		
Total	11	16.81930692			
C.V		0.760727			

Apéndice 17. ANDEVA carbono en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	35.76785	17.883925	698.06	<.0001
Error	9	0.230575	0.02561944		
Total	11	35.998425			
C.V		0.370061			

Apéndice 18. ANDEVA carbono en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	30.29015489	15.14507744	6170.18	<.0001
Error	9	0.02209103	0.00245456		
Total	11	30.31224592			
C.V		1.189782			

Apéndice 19. ANDEVA carbono en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	324.9226167	162.4613083	7900.32	<.0001
Error	9	0.185075	0.0205639		
Total	11	325.1076917			
C.V		0.341967			

Apéndice 20. ANDEVA carbono total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	121.0896167	60.5448083	385.43	<.0001
Error	9	1.41375	0.1570833		
Total	11	122.5033667			
C.V		0.301692			

Apéndice 21. ANDEVA calcio en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	1.30160755	0.65080377	799.39	<.0001
Error	9	0.00732712	0.00081412		
Total	11	1.30893467			
C.V		2.10934			

Apéndice 22. ANDEVA calcio en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	2.88106193	1.44053097	2560.96	<.0001
Error	9	0.00506248	0.0005625		
Total	11	2.88612441			
C.V		2.103584			

Apéndice 23. ANDEVA calcio en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	7.86732363	3.93366182	7156.29	<.0001
Error	9	0.00494711	0.00054968		
Total	11	7.87227074			
C.V		1.392296			

Apéndice 24. ANDEVA calcio total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	30.29015489	15.14507744	6170.18	<.0001
Error	9	0.02209103	0.00245456		
Total	11	30.31224592			
C.V		1.189782			

Apéndice 25. ANDEVA magnesio en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00305968	0.00152984	20.03	0.0005
Error	9	0.00068733	0.00007637		
Total	11	0.00374701			
C.V		4.455063			

Apéndice 26. ANDEVA magnesio en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.02015973	0.01007986	100.36	<.0001
Error	9	0.00090394	0.00010044		
Total	11	0.02106367			
C.V		4.594207			

Apéndice 27. ANDEVA magnesio en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.01334325	0.00667163	61.84	<.0001
Error	9	0.00097099	0.00010789		
Total	11	0.01431424			
C.V		7.97253			

Apéndice 28. ANDEVA magnesio total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00371039	0.00185519	5.79	0.0241
Error	9	0.00288163	0.00032018		
Total	11	0.00659201			
C.V		3.285941			

Apéndice 29. ANDEVA hierro en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	435.5	217.75	16.5	0.001
Error	9	118.75	13.1944444		
Total	11	554.25			
C.V		2.69567			

Apéndice 30. ANDEVA hierro en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	7617.166667	3808.583333	61.02	<.0001
Error	9	561.75	62.416667		
Total	11	8178.916667			
C.V		4.127343			

Apéndice 31. ANDEVA hierro en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	1047.166667	523.583333	12.19	0.0027
Error	9	386.5	42.944444		
Total	11	1433.666667			
C.V		3.873813			

Apéndice 32. ANDEVA hierro total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	19587.16667	9793.58333	70.54	<.0001
Error	9	1249.5	138.83333		
Total	11	20836.66667			
C.V		2.378753			

Apéndice 33. ANDEVA manganeso en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	10912.66667	5456.33333	24.8	0.0002
Error	9	1980.25	220.02778		
Total	11	12892.91667			
C.V		6.760349			

Apéndice 34. ANDEVA manganeso en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	50101.16667	25050.58333	37.53	<.0001
Error	9	6007.75	667.52778		
Total	11	56108.91667			
C.V		3.424463			

Apéndice 35. ANDEVA manganeso en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	22888.66667	11444.33333	33.72	<.0001
Error	9	3054.25	339.36111		
Total	11	25942.91667			
C.V		5.701859			

Apéndice 36. ANDEVA manganeso total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	228238.1667	114119.0833	139.69	<.0001
Error	9	7352.75	816.9722		
Total	11	235590.9167			
C.V		3.116699			

Apéndice 37. ANDEVA cobre en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	45.43451667	22.71725833	246.2	<.0001
Error	9	0.83045	0.09227222		
Total	11	46.26496667			
C.V		3.234393			

Apéndice 38. ANDEVA cobre en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	18.88011667	9.44005833	25.4	0.0002
Error	9	3.344375	0.37159722		
Total	11	22.22449167			
C.V		3.730837			

Apéndice 39. ANDEVA cobre en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	11.90201667	5.95100833	89.79	<.0001
Error	9	0.596475	0.066275		
Total	11	12.49849167			
C.V		1.704802			

Apéndice 40. ANDEVA cobre total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	210.1298667	105.0649333	232.87	<.0001
Error	9	4.0605	0.4511667		
Total	11	214.1903667			
C.V		1.645021			

Apéndice 41. ANDEVA zinc en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	85.69551667	42.84775833	56.51	<.0001
Error	9	6.823775	0.75819722		
Total	11	92.51929167			
C.V		3.604948			

Apéndice 42. ANDEVA zinc en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	130.7058667	65.3529333	40.57	<.0001
Error	9	14.4963	1.6107		
Total	11	145.2021667			
C.V		3.902425			

Apéndice 43. ANDEVA zinc en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	39.08371667	227.766667	23.31	0.0003
Error	9	7.545175	49.138889		
Total	11	46.62889167			
C.V		3.14816			

Apéndice 44. ANDEVA zinc total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	718.2776	359.1388	134.1	<.0001
Error	9	24.1026	2.6780667		
Total	11	742.3802			
C.V		1.908209			

Apéndice 45. ANDEVA Absorción fósforo en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00053499	0.0002675	14.45	0.0015
Error	9	0.00016661	0.00001851		
Total	11	0.0007016			
C.V		12.24926			

Apéndice 46. ANDEVA Absorción fósforo en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00070711	0.00035356	35.08	<.0001
Error	9	0.00009072	0.00001008		
Total	11	0.00079783			
C.V		7.676465			

Apéndice 47. ANDEVA Absorción fósforo total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00634961	0.0031748	8.42	0.0087
Error	9	0.00339206	0.0003769		
Total	11	0.00974167			
C.V		11.88357			

Apéndice 48. ANDEVA Absorción nitrógeno en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00116408	0.00058204	4.55	0.043
Error	9	0.00115057	0.00012784		
Total	11	0.00231465			

C.V	9.332146
-----	----------

Apéndice 49. ANDEVA Absorción de nitrógeno en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00242198	0.00121099	17.43	0.0008
Error	9	0.00062529	0.00006948		
Total	11	0.00304727			

C.V	1.060832
-----	----------

Apéndice 50. ANDEVA Absorción de potasio en el tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.01665562	0.00832781	40.91	<.0001
Error	9	0.00183221	0.00020358		
Total	11	0.01848783			

C.V	8.511069
-----	----------

Apéndice 51. ANDEVA Absorción de potasio en las acículas.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.04731206	0.02365603	15.52	0.0012
Error	9	0.01372167	0.00152463		
Total	11	0.06103373			

C.V	17.40752
-----	----------

Apéndice 52. ANDEVA Absorción de potasio en la raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00270018	0.00135009	12.99	0.0022
Error	9	0.00093553	0.00010395		
Total	11	0.00363571			

C.V	6.947496
-----	----------

Apéndice 53. ANDEVA Absorción de potasio total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.15451026	0.07725513	21.08	0.0004
Error	9	0.03298163	0.00366463		
Total	11	0.1874919			

C.V	11.23745
-----	----------

Apéndice 54. ANDEVA Absorción de carbono en las acículas.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.32156552	0.16078276	66.37	<.0001
Error	9	0.02180341	0.0024226		
Total	11	0.34336893			

C.V	11.3423
-----	---------

Apéndice 55. ANDEVA Absorción de carbono en la raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	3.91138274	1.95569137	40.31	<.0001
Error	9	0.43663212	0.04851468		
Total	11	4.34801486			

C.V	5.578898
-----	----------

Apéndice 56. ANDEVA Absorción de calcio en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00964904	0.00482452	31.67	<.0001
Error	9	0.001371	0.00015233		
Total	11	0.01102004			

C.V	9.455928
-----	----------

Apéndice 57. ANDEVA Absorción de calcio en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.05275469	0.02637734	38.82	<.0001
Error	9	0.00611468	0.00067941		
Total	11	0.05886936			

C.V	17.7709
-----	---------

Apéndice 58. ANDEVA Absorción de calcio en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.06585445	0.03292723	171.77	<.0001
Error	9	0.00172524	0.00019169		
Total	11	0.06757969			

C.V	8.832738
-----	----------

Apéndice 59. ANDEVA Absorción de calcio total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.32156552	0.16078276	66.37	<.0001
Error	9	0.02180341	0.0024226		
Total	11	0.34336893			

C.V	11.3423
-----	---------

Apéndice 60. ANDEVA Absorción de magnesio en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.0000647	0.00003235	8.41	0.0087
Error	9	0.00003461	0.00000385		
Total	11	0.00009931			

C.V	10.24434
-----	----------

Apéndice 61. ANDEVA Absorción de magnesio en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00034149	0.00017074	10.73	0.0041
Error	9	0.00014324	0.00001592		
Total	11	0.00048473			

C.V	14.15122
-----	----------

Apéndice 62. ANDEVA Absorción de magnesio en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00010363	0.00005182	18.73	0.0006
Error	9	0.0000249	0.00000277		
Total	11	0.00012853			

C.V	13.62386
-----	----------

Apéndice 63. ANDEVA Absorción de hierro en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	2.52E-07	1.26E-07	10.79	0.0041
Error	9	1.05E-07	1.17E-08		
Total	11	3.57E-07			

C.V	8.203469
-----	----------

Apéndice 64. ANDEVA Absorción de hierro en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	1.38E-06	6.91E-07	7.51	0.012
Error	9	8.28E-07	9.19E-08		
Total	11	2.21E-06			

C.V	12.33451
-----	----------

Apéndice 65. ANDEVA Absorción de hierro en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	2.12E-07	1.06E-07	12.29	0.0027
Error	9	7.75E-08	8.61E-09		
Total	11	2.89E-07			

C.V	5.83012
-----	---------

Apéndice 66. ANDEVA Absorción de hierro total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	4.36E-06	2.18E-06	11.75	0.0031
Error	9	1.67E-06	1.85E-07		
Total	11	6.02E-06			
C.V		2.378753			

Apéndice 67. ANDEVA Absorción de manganeso en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	2.33E-06	1.17E-06	67.69	<.0001
Error	9	1.55E-07	1.72E-08		
Total	11	2.49E-06			
C.V		6.151569			

Apéndice 68. ANDEVA Absorción de manganeso en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00000767	0.00000384	5.7	0.0251
Error	9	0.00000606	0.00000067		
Total	11	0.00001373			
C.V		16.97028			

Apéndice 69. ANDEVA Absorción de manganeso en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	2.91E-06	1.45E-06	38.19	<.0001
Error	9	3.43E-07	3.81E-08		
Total	11	3.25E-06			
C.V		6.413534			

Apéndice 70. ANDEVA Absorción de manganeso total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0.00003518	0.00001759	16.37	0.001
Error	9	0.00000967	0.00000107		
Total	11	0.00004485			
C.V		10.31397			

Apéndice 71. ANDEVA Absorción de cobre en tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	0	0	.	.
Error	9	0	0		
Total	11	0			
C.V		0			

Apéndice 72. ANDEVA Absorción de cobre en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	2.17E-08	1.08E-08	13	0.0022
Error	9	7.50E-09	8.33E-10		
Total	11	2.92E-08			
C.V		20.37707			

Apéndice 73. ANDEVA Absorción de cobre total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	4.67E-08	2.33E-08	10.5	0.0044
Error	9	2.00E-08	2.22E-09		
Total	11	6.67E-08			
C.V		10.87857			

Apéndice 74. ANDEVA Absorción de cobre total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	2.17E-08	1.08E-08	13	0.0022
Error	9	7.50E-09	8.33E-10		
Total	11	2.92E-08			
C.V		11.94518			

Apéndice 75. ANDEVA Absorción de zinc en acícula.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	3.17E-08	1.58E-08	5.7	0.0252
Error	9	2.50E-08	2.78E-09		
Total	11	5.67E-08			
C.V		12.64911			

Apéndice 76. ANDEVA Absorción de zinc en raíz.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	1.50E-08	7.50E-09	9	0.0071
Error	9	7.50E-09	8.33E-10		
Total	11	2.25E-08			
C.V		10.49728			

Apéndice 77. ANDEVA Absorción de zinc total.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	2	1.55E-07	7.75E-08	7.97	0.0102
Error	9	8.75E-08	9.72E-09		
Total	11	2.43E-07			
C.V		10.6596			

Apéndice 78. ANDEVA eficiencia de fertilización nitrógeno.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	5	4.19E-06	2.09E-06	Infinito	<.0001
Error	6	0	0		
Total	11	4.19E-06			

C.V	0
-----	---

Apéndice 79. ANDEVA eficiencia de fertilización fósforo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	5	0.00009171	0.00004585	Infinito	<.0001
Error	6	0	0		
Total	11	46.62889167			

C.V	0
-----	---

Apéndice 80. ANDEVA eficiencia de fertilización potasio.

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	Pr > F
Modelo	5	0.00005208	0.00002604	Infinito	<.0001
Error	6	0	0		
Total	11	0.00005208			

C.V	0
-----	---

Apéndice 81. Pesaje del contenido foliar inicial.

Apéndice 82. Secado de muestras en el horno.



Apéndice 83. Recolección de muestras para el análisis de suelo.



Apéndice 84. Semillas del semillero.



Apéndice 85. Tratamiento pregerminativo.



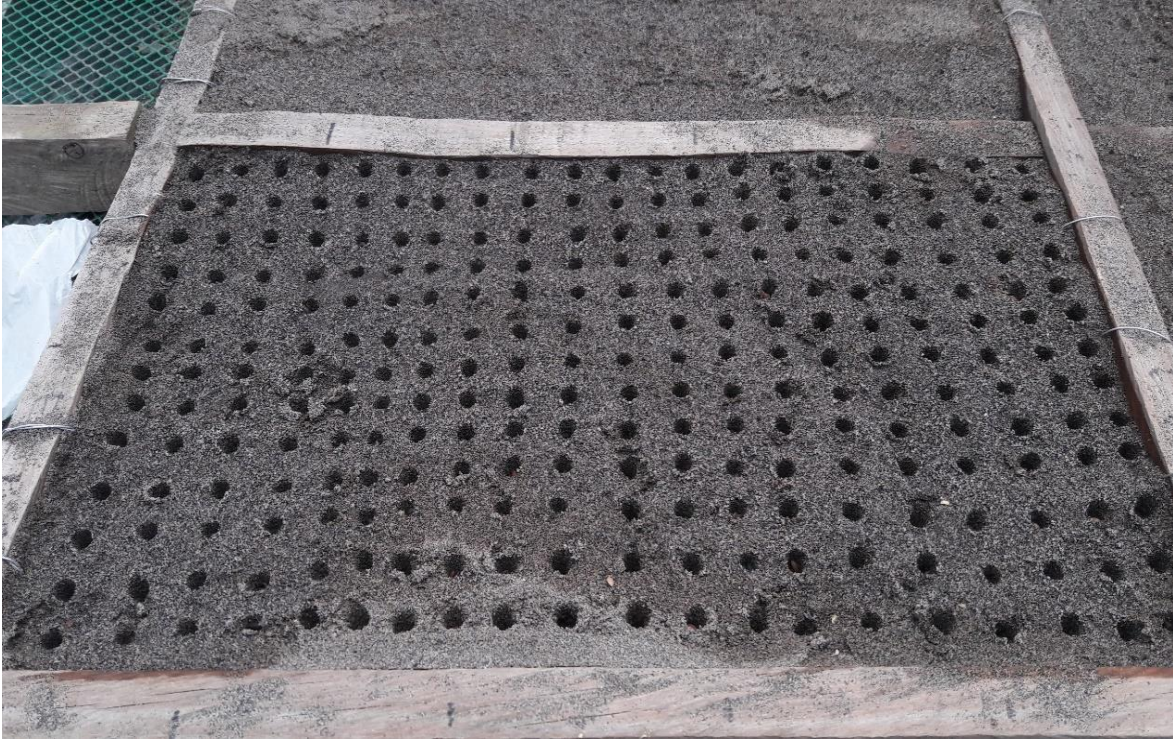
Apéndice 86. Tratamiento del sustrato con MERCTEC.



Apéndice 87. Elaboración del germinador.



Apéndice 88. Siembra de semillas.



Apéndice 89. Germinador con sustrato y semillas.



Apéndice 90. Delimitación del terreno (cercado).



Apéndice 91. Germinación de las semillas.



Apéndice 92. Ahoyado para la siembra.



Apéndice 93. Limpieza del terreno.



Apéndice 94. Glifosato empleado para la limpieza del terreno.



Apéndice 95. Canales para el agua de escorrentía.



Apéndice 96. Árboles para la siembra.



Apéndice 97. Árbol antes de la siembra.



Apéndice 98. Siembra de árboles.



Apéndice 99. Plantación completa.



Apéndice 100. Planta al mes después de la siembra.



Apéndice 101. Planta a los 2 meses después de la siembra.



Apéndice 102. Planta a los 3 meses de la siembra.



Apéndice 103. Planta a los 4 meses de la siembra.



Apéndice 104. Mezcla de fertilizantes.



Apéndice 105. Aplicación de fertilizante.



Apéndice 106. Marcación del terreno.



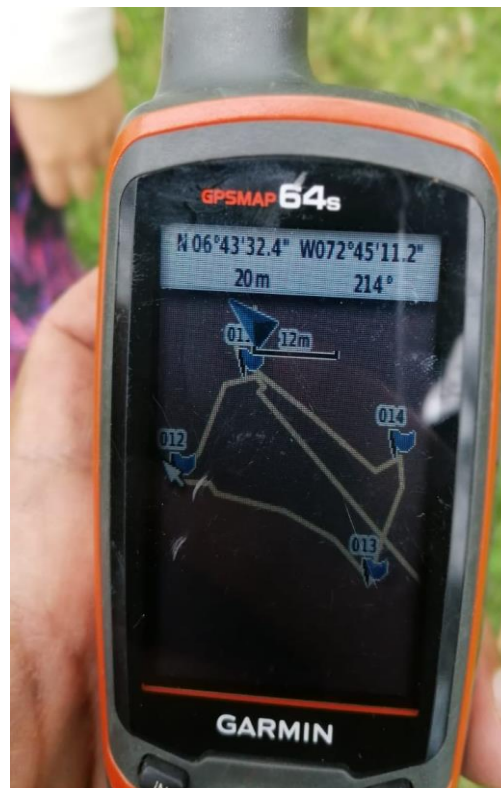
Apéndice 107. Medición de variable altura.



Apéndice 108. Medición de variable diámetro.



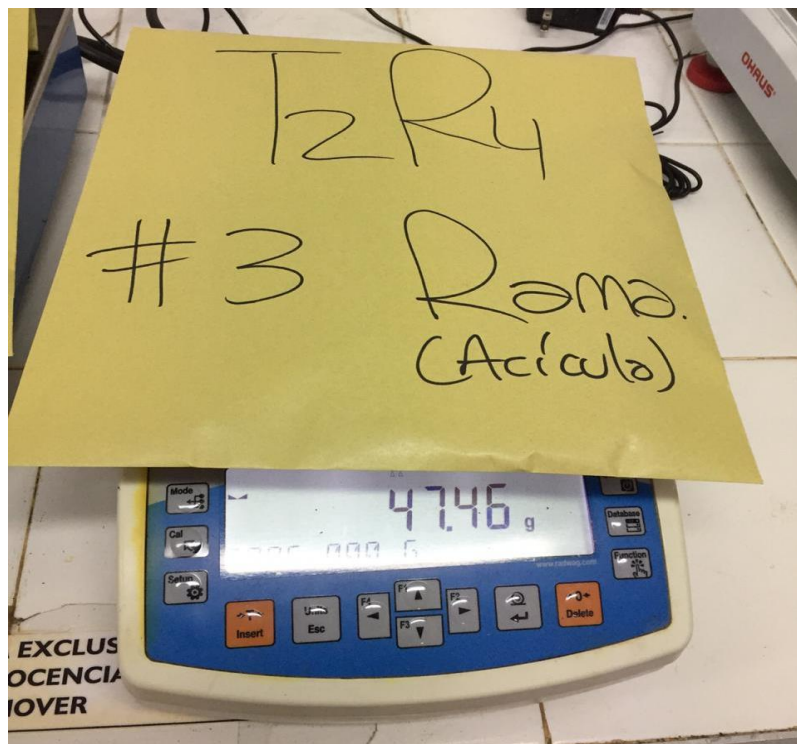
Apéndice 109. Toma de puntos en el GPS.



Apéndice 110. Plantas después de 5 meses de la plantación para el análisis foliar final.



Apéndice 111. Pesaje de las muestras finales divididas en tallo, acícula y raíz.



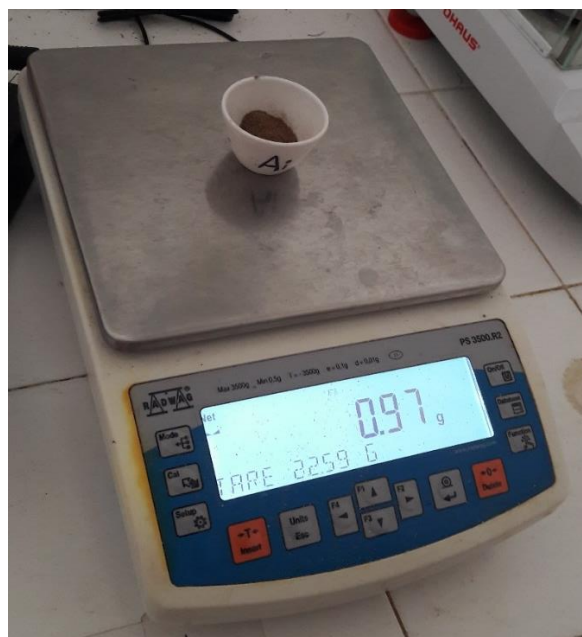
Apéndice 112. Máquina para triturar la muestra.



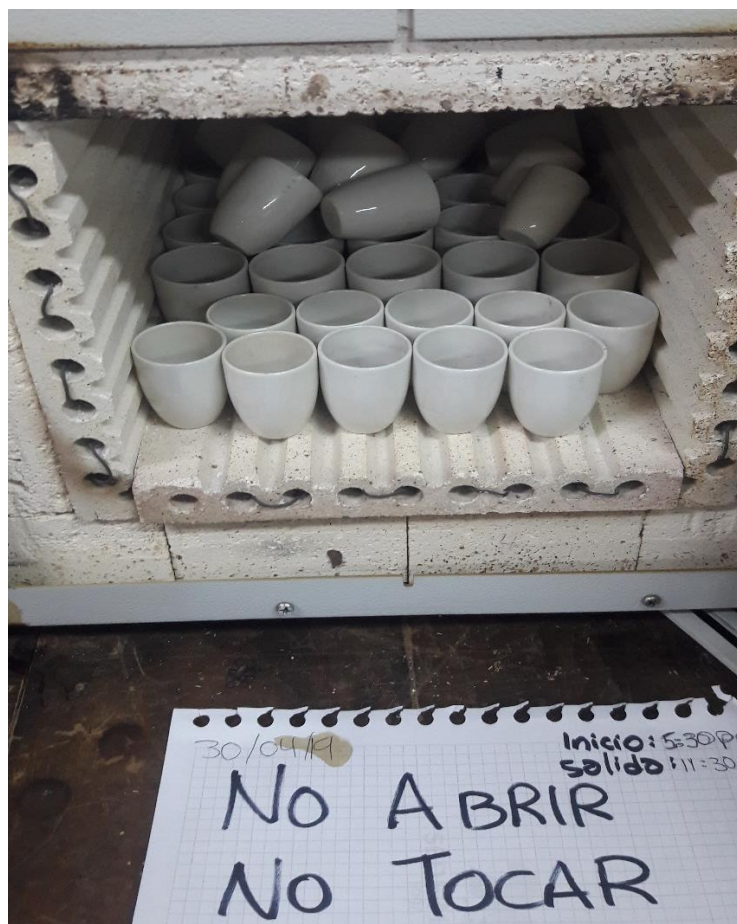
Apéndice 113. Tamizado de la muestra.



Apéndice 114. Pesaje de la muestra tamizada.



Apéndice 115. Muestras listas en la mufla 550 grados durante 6h para volver ceniza.



Apéndice 116. Muestras listas para el análisis de minerales.

