



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERIA FORESTAL

**EVALUACION DEL EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN EL
CRECIMIENTO INICIAL DE *Gmelina arborea* Roxb, EN EL
CANTÓN LORETO, PROVINCIA DE ORELLANA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA FORESTAL

AUTORA: MARÍA DE LOS ANGELES CHUQUI CHABLA

DIRECTOR: ING. VICENTE JAVIER PARRA LEÓN MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, María de los Angeles Chuqui Chabla

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, María de los Angeles Chuqui Chabla, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de noviembre de 2023

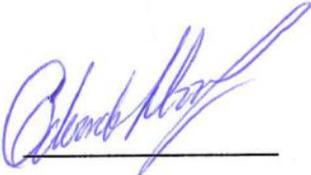
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'María de los Angeles Chuqui Chabla', enclosed within a circular scribble.

María de los Angeles Chuqui Chabla

1401145568

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERIA FORESTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACION DEL EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE *Gmelina arborea* Roxb, EN EL CANTÓN LORETO, PROVINCIA DE ORELLANA**, realizado por la señorita: **MARÍA DE LOS ANGELES CHUQUI CHABLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular , el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Rosa del Pilar Castro Gómez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023 – 11 – 29
Ing. Vicente Javier Parra León MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023 – 11 – 29
Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda MsC. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023 – 11 – 29

DEDICATORIA

Este Trabajo de Integración Curricular está dedicada principalmente a Dios, por siempre estar conmigo y ayudarme en todo el transcurso de mi carrera.

A mis queridos abuelos maternos por sus consejos, cariño, apoyo sobre todo a mi abuelo por darme el empujón en primer semestre para continuar con mis estudios con todo cariño esto es por ti. A mis padres por su amor incondicional su motivación y sus consejos que me han enseñado a superar las adversidades, por ayudarme con los recursos económicos necesarios, por inculcarme principios, valores, perseverancia y porque me han enseñado a crecer como persona.

A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional en todo momento para lograr mis objetivos, a mi hermano Beto y mi cuñada Rocío por siempre estar pendiente de mí, también a mi tío Angel, mi primo Ramiro. Finalmente, a mis amigos Luis, Alan y Michael por su cariño, consejos y apoyo incondicional a pesar de la distancia en todos estos años de amistad. A Jordán, Bryan, Daniel, Daisy y Fatima porque han sido una fuente de apoyo y motivación, por extenderme su mano en momentos difíciles. A mis compañeros de clases que a través de estos años universitarios han sido una fuente constante de motivación, por las cosas que nunca faltaron como las risas, las bromas, las charlas, las aventuras, las comidas.

María

AGRADECIMIENTO

En este agradecimiento quisiera empezar por Dios, mi principal fuente espiritual. Seguidamente a mi madre que ha sido un pilar fundamental y una guía en el transcurso de mi vida. Asimismo, quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme dado la bienvenida como parte de su comunidad y por haberme brindado acceso al mundo científico para cursar mis estudios universitarios. También quiero extender mi agradecimiento a mi director de tesis Ing. Vicente Parra y a mi asesor Ing. Eduardo Salazar sus consejos, comentarios, orientación, sabiduría y paciencia a lo largo de todo el proceso han sido esenciales para el logro exitoso de este trabajo. Además, me gustaría expresar mi agradecimiento hacia el Ing. Manolo Espinoza, Ing. Andrea Guapi, Ing. Carola Flores, Ing. Miguel Guallpa quienes generosamente compartieron su tiempo y conocimientos, haciendo posible la realización de este estudio. No puede dejar de agradecer a la empresa ARBORIENTE S.A. por haberme brindado la oportunidad de llevar a cabo esta investigación y por abrirme sus puertas. Mi agradecimiento también se extiende a todo el equipo de la finca “El Huino”, quienes aportaron en el trabajo en campo. También quiero expresar mi gratitud al cielo donde están dos personas muy especiales mi mejor amiga Majorie y la persona que siempre me apoyo incondicionalmente, la persona que siempre me aconsejo y siempre estuvo para mi ella es mi principal admiración e inspiración doña Rosita.

María

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMENxvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1	Planteamiento del problema.....	3
1.2	Objetivos	3
1.2.1	<i>Objetivo General</i>	3
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
1.3	Justificación	4
1.4	Hipótesis.....	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	5
2.1	Plantaciones forestales	5
2.2	Plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> Roxb en el Ecuador.....	6
2.3	Descripción de la especie <i>Gmelina arborea</i> Roxb	6
2.3.1	<i>Descripción taxonómica</i>	6
2.3.2	<i>Ecología y distribución de la especie</i>	7
2.3.3	<i>Distribución natural</i>	7
2.3.4	<i>Descripción dendrológica</i>	7

2.3.5	<i>Factores limitantes para el desarrollo</i>	8
2.3.6	<i>Requerimientos edáficos</i>	8
2.3.7	<i>Topografía</i>	8
2.3.8	<i>Requerimientos climáticos</i>	9
2.3.9	<i>Usos de la madera</i>	9
2.3.10	<i>Estudios de fertilización en Gmelina arborea</i>	10
2.4	Suelo	11
2.4.1	<i>Características del suelo</i>	11
2.4.2	<i>La fertilidad</i>	12
2.5	Nutrientes y sus funciones en las plantas	12
2.5.1	<i>Los nutrientes necesarios para el crecimiento</i>	12
2.5.2	<i>Funciones de los nutrientes</i>	13
2.5.2.1	<i>Macronutrientes</i>	13
2.5.2.2	<i>Micronutrientes</i>	15
2.6	Fertilizantes	15
2.7	Fertilizantes utilizados en la investigación	16
2.7.1	<i>Urea</i>	16
2.7.2	<i>Muriato de potasio</i>	17
2.7.3	<i>Fertilizante 10 – 30 – 10</i>	17
2.8	Fertilización	17
2.8.1	<i>Fertilización forestal</i>	18
2.8.2	<i>Métodos de fertilización</i>	20
2.8.2.1	<i>A voleo</i>	21
2.8.2.2	<i>Localización en bandas o hileras</i>	21
2.8.2.3	<i>Aplicación en cobertura</i>	22
2.8.2.4	<i>Aplicación entre líneas</i>	22
2.8.2.5	<i>Aplicación foliar</i>	22
2.8.3	<i>Cálculo de la dosis de los fertilizantes</i>	23
2.9	Variables que se evaluaron	23

2.9.1	<i>Variables cuantitativas</i>	23
2.9.1.1	<i>Diámetro a la altura del pecho</i>	24
2.9.1.2	<i>Altura total</i>	24
2.9.1.3	<i>Área foliar</i>	24

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	25
3.1	Caracterización del lugar	25
3.1.1	<i>Localización</i>	25
3.1.2	<i>Ubicación geográfica</i>	26
3.1.3	<i>Condiciones climáticas</i>	26
3.1.4	<i>Clasificación ecológica</i>	26
3.2	Materiales y equipos	26
3.2.1	<i>Materiales de campo</i>	26
3.2.2	<i>Materiales de oficina</i>	26
3.3	Metodología	27
3.4	Localización de las unidades de muestreo	27
3.5	Diseño de las unidades de muestreo	27
3.6	Establecimiento de la plantación	28
3.6.1	<i>Identificación de área de estudio</i>	28
3.6.2	<i>Instalación de la zona de estudio</i>	29
3.6.3	<i>Balizado y colocación de cintas para identificar los tratamientos</i>	29
3.7	Fertilizantes	29
3.7.1	<i>Cálculo de la dosis baja</i>	30
3.7.2	<i>Cálculo de la dosis media</i>	32
3.7.3	<i>Cálculo de la dosis alta</i>	35
3.7.4	<i>Época de fertilización</i>	38
3.7.5	<i>Aplicación del fertilizante</i>	38

3.8	Registro de datos de campo	39
3.9	Toma de datos de las variables cuantitativas	39
3.9.1	<i>Diámetro a la altura del pecho</i>	39
3.9.2	<i>Altura</i>	39
3.9.3	<i>Área foliar</i>	39
3.10	Prueba estadística	39
3.10.1	<i>Shapiro Wilk</i>	40
3.10.2	<i>Homocedasticidad</i>	40
3.10.3	<i>ANOVA</i>	40
3.10.4	<i>Prueba de Tukey</i>	40
3.10.5	<i>Prueba no paramétrica</i>	40

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1	Variables cuantitativas	41
4.1.1	<i>Diámetro a la altura del pecho</i>	41
4.1.2	<i>Altura</i>	41
4.1.3	<i>Área foliar</i>	42
4.2	Prueba de normalidad de las variables	43
4.2.1	<i>Prueba de normalidad para el DAP de la planta</i>	43
4.2.2	<i>Prueba de normalidad para la altura</i>	44
4.2.3	<i>Prueba de normalidad para el área foliar</i>	44
4.2.4	<i>Prueba de homocedasticidad del DAP</i>	44
4.2.5	<i>Prueba de homocedasticidad de la altura</i>	45
4.2.6	<i>Prueba de homocedasticidad del área foliar</i>	45
4.2.7	<i>ANOVA de las variables al inicio de la investigación</i>	46
4.2.7.1	<i>Análisis de varianza para el DAP al inicio de la investigación</i>	46
4.2.7.2	<i>Prueba de Friedman del DAP al inicio de la investigación</i>	46

4.2.7.3	<i>Análisis de varianza de la altura al inicio de la investigación</i>	47
4.2.7.4	<i>Prueba de Friedman de la altura al inicio de la investigación</i>	48
4.2.7.5	<i>Análisis de varianza del área foliar al inicio de la investigación</i>	49
4.2.7.6	<i>Prueba de Friedman del área foliar al inicio de la investigación</i>	50
4.2.8	<i>ANOVA de las variables a los 40 días</i>	51
4.2.8.1	<i>Análisis de varianza para el DAP a los 40 días</i>	51
4.2.8.2	<i>Prueba de Friedman del DAP a los 40 días</i>	51
4.2.8.3	<i>Análisis de varianza para la altura a los 40 días</i>	52
4.2.8.4	<i>Prueba de Friedman de la altura a los 40 días</i>	53
4.2.8.5	<i>Análisis de varianza para el área foliar a los 40 días</i>	54
4.2.8.6	<i>Prueba de Friedman del área foliar a los 40 días</i>	54
4.2.9	<i>ANOVA de las variables a los 80 días</i>	55
4.2.9.1	<i>Análisis de varianza para el DAP a los 80 días</i>	55
4.2.9.2	<i>Prueba de Friedman del DAP a los 80 días</i>	56
4.2.9.3	<i>Análisis de varianza para la altura a los 80 días</i>	57
4.2.9.4	<i>Prueba de Friedman de la altura a los 80 días</i>	57
4.2.9.5	<i>Análisis de varianza para el área foliar a los 80 días</i>	58
4.2.9.6	<i>Prueba de Friedman del área foliar a los 80 días</i>	59
4.2.10	<i>ANOVA de las variables a los 120 días</i>	60
4.2.10.1	<i>Análisis de varianza para el DAP a los 120 días</i>	60
4.2.10.2	<i>Prueba de Friedman del DAP a los 120 días</i>	60
4.2.10.3	<i>Análisis de varianza para la altura a los 120 días</i>	62
4.2.10.4	<i>Prueba de Tukey</i>	62
4.2.10.5	<i>Análisis de varianza para el área foliar a los 120 días</i>	64
4.2.10.6	<i>Prueba de Friedman del área foliar a los 120 días</i>	65

CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
----	---	----

5.1	Conclusiones	68
5.2	Recomendaciones	70

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Descripción taxonómica	6
Tabla 2-2: Necesidades edáficas de la especie <i>Gmelina arborea</i> Roxb	8
Tabla 2-3: Necesidades climáticas para el buen crecimiento de la especie <i>Gmelina arborea</i>	9
Tabla 2-4: Clasificación de los fertilizantes.....	16
Tabla 2-5: Solubilidad y fertilizantes más utilizados en agricultura.....	18
Tabla 3-1: Ubicación geográfica del área de estudio	26
Tabla 3-2: Cantidad de N, P, K en los fertilizantes utilizados	29
Tabla 4-1: Prueba de normalidad Shapiro Wilks - DAP.....	43
Tabla 4-2: Prueba de normalidad Shapiro Wilk - Altura	44
Tabla 4-3: Prueba de normalidad Shapiro Wilk – Área foliar	44
Tabla 4-4: Prueba de homocedasticidad, DAP	45
Tabla 4-5: Prueba de homocedasticidad de la altura.....	45
Tabla 4-6: Prueba de homocedasticidad del área foliar	46
Tabla 4-7: Análisis de varianza del DAP al inicio de la investigación.....	46
Tabla 4 8: Prueba de Friedman del diámetro a la altura del pecho	47
Tabla 4-9: Análisis de varianza de la altura antes de fertilizar	48
Tabla 4-10: Prueba de Friedman de la altura al inicio de la investigación	48
Tabla 4-11: Análisis de varianza del área foliar al inicio de la investigación.....	49
Tabla 4-12: Prueba de Friedman del área foliar al inicio de la investigación.....	50
Tabla 4-13: Análisis de varianza del DAP a los 40 días	51
Tabla 4-14: Prueba de Friedman del DAP a los 40 días	51
Tabla 4-15: Análisis de varianza de la altura a los 40 días	52
Tabla 4-16: Prueba de Friedman de la altura a los 40 días	53
Tabla 4-17: Análisis de varianza del área foliar a los 40 días.....	54
Tabla 4-18: Prueba de Friedman del área foliar a los 40 días	54
Tabla 4-19: Análisis de varianza del DAP a los 80 días	55
Tabla 4-20: Prueba de Friedman del diámetro a la altura del pecho a los 80 días.....	56

Tabla 4-21: Análisis de varianza de la altura a los 80 días	57
Tabla 4-22: Prueba de Friedman de la altura a los 80 días	57
Tabla 4-23: Análisis de varianza del área foliar a los 80 días.....	58
Tabla 4-24: Prueba de Friedman del área foliar a los 80 días	59
Tabla 4-25: Análisis de varianza del DAP a los 120 días	60
Tabla 4-26: Prueba de Friedman del DAP a los 120 días	60
Tabla 4-27: Análisis de varianza de la altura a los 120 días	62
Tabla 4-28: Prueba de Tukey de la altura a los 120 días	62
Tabla 4-29: Análisis de varianza del área foliar a los 120 días.....	64
Tabla 4-30: Prueba de Friedman del área foliar a los 120 días	65
Tabla 4-31: Resumen de las variables cuantitativas	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Localización geográfica de la investigación	25
Ilustración 3-2: Diseño experimental de la investigación	28
Ilustración 3-3: Distribución del fertilizante en cada árbol	38
Ilustración 4-1: Diámetro a la altura del pecho	41
Ilustración 4-2: Altura total a los 120 días	42
Ilustración 4-3: Área foliar a los 120 días	43
Ilustración 4-4: Diámetro a la altura del pecho al inicio de la investigación	47
Ilustración 4-5: Altura al inicio de la investigación	49
Ilustración 4-6: Área foliar al inicio de la investigación	50
Ilustración 4-7: Diámetro a la altura del pecho a los 40 días	52
Ilustración 4-8: Altura a los 40 días	53
Ilustración 4-9: Área foliar a los 40 días	55
Ilustración 4-10: Diámetro a la altura del pecho a los 80 días	56
Ilustración 4-11: Altura a los 80 días	58
Ilustración 4-12: Área foliar a los 80 días	59
Ilustración 4-13: Diámetro a la altura del pecho a los 120 día	61
Ilustración 4-14: Altura a los 120 días	63
Ilustración 4-15: Área foliar a los 120 días	65
Ilustración 4-16: Resumen de las variables diámetro a la altura del pecho, altura y el área foliar a los 40, 80 y 120 días.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: REGISTRO DE TOMAS DE DATOS EN CAMPO

ANEXO B: PROMEDIOS DE LOS VALORES TOMADOS EN CAMPO

ANEXO C: RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

ANEXO D: DOSIFICACIÓN Y APLICACIÓN DEL FERTILIZANTE

ANEXO E: EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES EN CAMPO

RESUMEN

La presente investigación se realizó debido a los problemas presentados en la finca de ARBORIENTE S.A. sobre la variabilidad del suelo ya que el desarrollo de la planta es desigual, aunque estas hayan sido plantadas al mismo tiempo de manera que se estableció como objetivo evaluar el efecto de la fertilización en el crecimiento inicial de *Gmelina arborea* Roxb. en el cantón Loreto, provincia de Orellana. Se utilizó una metodología a través de un formato para la medición de las variables cuantitativas con un diseño incompletamente al azar con tres tratamientos, cada tratamiento conto con cuatro repeticiones y un testigo con dos repeticiones, con un total de 80 plantas evaluadas por cada tratamiento así mismo 40 plantas evaluadas por los testigos, la medición se realizó a los 40, 80 y 120 días después de la plantación, se estableció la plantación en una densidad de 3,4 x 3,4 m con dosis de fertilización baja (166,6 g), media (222,1 g) y alta (277,7g) la cual se aplicó por tres veces, las variables evaluadas fueron diámetro a la altura del pecho, altura total, área foliar, los datos que se obtuvieron en campo fueron sometidos a diferentes procedimientos estadísticos mediante el software Infostat. El valor más alto de las diferentes variables fue del diámetro a la altura del pecho de 9,36 cm del testigo (T4), la altura tuvo un valor de 7,20 m en el T1 que es la dosis baja, el área foliar en cambio el valor más alto fue de 28,31. Finalmente se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula debido a que la variable cuantitativa (altura) presento diferencias significativas, por lo que se recomienda monitorear la plantación para observar si a través del tiempo si los cambios son más significativos.

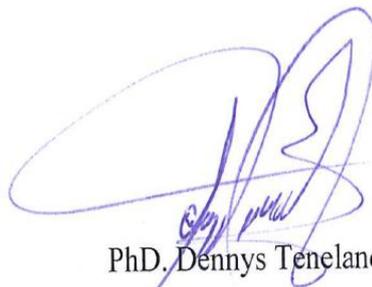
Palabras clave: <DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR>, <ÁREA FOLIAR>, <ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)>, <FERTILIZANTES>, <INFOSTAT>, <MELINA (*Gmelina arborea*)>, <PRUEBA DE FRIEDMAN>, <HOYADO>.



ABSTRACT

This research was carried out due to the problems presented on the ARBORIENTE S.A. farm, particularly on the variability of the soil since the development of the plant is uneven, even though they have been planted simultaneously. This study aimed to evaluate the effect of fertilization on the initial growth of *Gmelina arborea* Roxb. in the Loreto canton, province of Orellana. A methodology was used through a format for the measurement of quantitative variables with an incompletely randomized design with three treatments. Each treatment had four repetitions, and the control had two repetitions, with a total of 80 plants evaluated for each treatment and 40 plants evaluated by the controls. The measurement was carried out 40, 80, and 120 days after planting. The plantation was established at a density of 3.4 x 3.4 m with a low fertilization dose (166.6 g), medium (222.1 g), and high (277.7g), which was applied three times. The variables evaluated were diameter at breast height, total height, and leaf area. The data obtained in the field were subjected to different statistical procedures using the Infostat software. The highest value of the other variables was the diameter at breast height of 9.36 cm of the control (T4), 7.20 m in T1, which is the low dose, and the leaf area in change, the highest value was 28.31. Finally, the alternative hypothesis is accepted, and the null hypothesis is rejected because the quantitative variable (height) presented significant differences, so it is recommended to monitor the plantation to observe whether the changes are more significant over time.

Keywords: <RANDOM INCOMPLETE DESIGN>, <LEAF AREA>, <ANALYSIS OF VARIANCE (ANOVA)>, <FERTILIZERS>, <INFOSTAT>, <MELINA (*Gmelina arborea*)>, <FRIEDMAN TEST>, <HOLED>.



PhD. Dennys Tenelanda López

ID number: 0603342189

INTRODUCCIÓN

Gmelina arborea Roxb, comúnmente conocida como melina, es un árbol de rápido crecimiento nativo del sudeste asiático, particularmente de la India y Birmania. Sin embargo, se ha introducido en varias partes del mundo debido a su utilidad y versatilidad. Aquí hay algunos puntos sobre su presencia a nivel mundial, esta especie es valorada por su madera ligera pero resistente, utilizada en la fabricación de muebles, carpintería, construcción, pulpa de papel y productos de artesanías (Rojas et al., 2004, pp. 119-134).

Asimismo, esta especie a nivel mundial ha demostrado ser adaptable a diferentes condiciones climáticas y tipos de suelo, lo que ha contribuido a su propagación en varias partes del mundo. En general, su cultivo se ha extendido a múltiples países debido a su valor económico y sus diversos usos, pero su introducción debe manejarse cuidadosamente para evitar impactos negativos en los ecosistemas locales (Rojas et al., 2004, p. 135).

Hasta ahora, la madera de *Gmelina* en América Central no está compitiendo con las especies autóctonas del bosque. No obstante, las restricciones en el uso de estos bosques nativos han ocasionado una disminución en la disponibilidad de este recurso, lo que ha generado la necesidad de explorar otras fuentes de madera. En este contexto, *Gmelina* podría surgir como una alternativa prometedora (Rojas et al., 2004, p. 121).

Asimismo, esta especie en el Ecuador ha encontrado condiciones edafoclimáticas favorables para su crecimiento y con su introducción al país se la considera como un componente importante para el crecimiento y la economía del país. Por su parte el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2016, pp. 4-10) indica que la producción de este árbol se concentra principalmente en la región tropical y subtropical de la región costera. Esto se ha facilitado mediante la implementación del “Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales”, el cual busca mejorar la productividad, competitividad y sostenibilidad del sector forestal en Ecuador, promoviendo diversas especies, incluyendo la “melina”, ocupando una porción importante de la tierra sembrada del país en comparación con otras especies forestales como la teca, la balsa y el pino, entre otras especies (Ecuador Forestal, 2016, pp. 6-48).

Cabe recalcar que, por su relativa facilidad de manejo, adecuadas propiedades físicas, mecánicas y la versatilidad de usos de la madera, esta especie forestal ofrece una amplia gama de oportunidades para el desarrollo de la reforestación industrial. Su distribución natural es principalmente en bosques mixtos, y se desarrolla su máximo potencial en los bosques húmedos y fértiles. Se emplea como una fuente de recursos básicos para fabricar madera aserrada, laminada, contrachapada, muebles y postes rollizos conservados (Rojas et al., 2004, pp. 122-123).

Por otro lado, de acuerdo con Arguedas y Gamboa (2004, pp. 75-83), la melina al igual que otras especies forestales esta propensa a experimentar enfermedades, llegando a comprometer seriamente su sobrevivencia, y, por tanto, generar pérdidas económicas significativas (al afectar directamente su productividad), provocar pérdidas de empleo y migraciones desde el campo hacia las ciudades.

Por esto el desarrollo y crecimiento de las plantas depende de los nutrientes del suelo y se ha demostrado que estos componentes son necesarios para el crecimiento de todas las plantas. En el desarrollo de las plantas y en momentos específicos, los 16 realizan tareas vitales, y cuando están en cantidades pequeñas tienen el poder de reducir significativamente y producir alteraciones graves. Se clasifican en las categorías de macro y micronutrientes en función de sus cantidades relativas (Arévalo y Castellanos, 2011, p. 19).

ARBORIENTE S.A. es una empresa ecuatoriana que opera en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza, desde hace más de 42 años. Se dedica a la producción y comercialización de tableros contrachapados, también conocidos como triplex, y cuenta con 218 hectáreas de plantaciones de *Gmelina arborea* en su predio. El estudio se realizó en la finca de la empresa ubicada en la ciudad de Loreto, con la finalidad de saber que dosis de fertilización es mejor para la plantación.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En las plantaciones de *Gmelina arborea* que se encuentran en la finca de la empresa de ARBORIENTE S.A se ha presentado algunos problemas causados por la variabilidad del suelo ya que el crecimiento de la planta no es homogéneo, aunque estas son plantadas al mismo tiempo, es por eso por lo que se debe evaluar un buen tratamiento de fertilización que nos ayude a disminuir y/o eliminar estos problemas.

Cuando uno de ellos es deficiente en el suelo, los efectos de la deficiencia de nutrientes en el crecimiento de las plantas pueden reducirse significativamente (Arévalo y Castellanos, 2011, p. 19). Por otro lado, cuando existe deficiencia tanto de micronutrientes como de macronutrientes, la ausencia de uno de estos elementos menores en la nutrición vegetal puede afectar el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Estas limitaciones ocurren con frecuencia en el caso del nitrógeno y el fosforo.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo General*

Evaluar el efecto de la fertilización en el crecimiento inicial de *Gmelina arborea*, en el cantón Loreto, provincia de Orellana.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Estimar el crecimiento vegetativo de las plantas de *Gmelina arborea*
- Determinar la dosis que presenta un mejor rendimiento en la especie *Gmelina arborea*.

1.3 Justificación

Por la escasa información sobre la fertilización en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* Roxb. en el Ecuador, aunque hay pocos ensayos realizados en otros países donde se habla sobre los costos altos de la fertilización en plantación, por este motivo surge la necesidad de buscar una dosis de fertilización óptima para el crecimiento inicial de la especie que permita obtener un diámetro y altura de madera de buena calidad y cantidad que beneficie a la empresa en la producción de tableros contrachapados que es su principal actividad.

1.4 Hipótesis

Hipótesis nula – H_0

La fertilización no influye en el crecimiento de las especies de *Gmelina arborea*.

Hipótesis alternativa – H_1

La fertilización influye en el crecimiento de las especies de *Gmelina arborea*.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Plantaciones forestales

Los establecimientos de árboles, o plantaciones forestales comerciales se establecen por una masa boscosa con diseño, tamaño y especie seleccionada plantada por nosotros los humanos en suelos provisionales o para el cambio de este, cuyo objetivo es la producción de materias primas destinadas a la industrialización y la comercialización. Dependiendo de la especie a plantar, se deben cumplir ciertas condiciones (Alban, 2018, p. 77).

Asimismo, las plantaciones forestales comerciales y los bosques también contribuyen a la sociedad importantes productos maderables (madera para postes, aserrada, en rollo y para pulpa) y no maderables (como frutos, flores y semillas), así como numerosas ventajas medioambientales (como la preservación del suelo, el paisaje y la captura de carbono, entre otras) (Martínez et al., 2015, pp. 415-425).

Resumiéndolo en que son el resultado de sembrar árboles forestales con un propósito comercial, en áreas despojadas de los mismos, por medio de un proyecto de forestación o reforestación con un apropiado manejo silvicultural (Ecuador Forestal, 2007, p. 25).

Según el MAG (2020) se ha impulsado la siembra de 20000 hectáreas como parte del Proyecto de Incentivos Forestales porque considera que las plantaciones forestales comerciales son la mejor alternativa para disminuir la presión sobre el bosque nativo. Eddie Pesantez, viceministro de desarrollo productivo agropecuario, afirmó durante el taller virtual Pacto Nacional por el Manejo Sostenible de los Bosques, organizado por la Mesa Técnica Ejecutiva para la compensación, que el Ecuador es una de las 17 naciones mega diversas más importantes del mundo, y debemos cuidar y hacer un uso inteligente de nuestros recursos forestales si queremos mantenerlos al servicio de la sociedad y las generaciones futuras, para exactamente mejorar nuestros ecosistemas, evitar la deforestación y generar una producción sostenible para los próximos diez años teniendo en cuenta la zonificación de las áreas productivas.

2.2 Plantaciones de *Gmelina arborea* Roxb en el Ecuador

La especie *Gmelina arborea* (melina), se encuentra distribuida en las provincias tropicales del Ecuador como Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, los Ríos, parte del Guayas, el Oro y algunas provincias amazónicas. Esta especie es importante para este tipo de programas en Ecuador debido a los incentivos que se han establecido para crear plantaciones forestales de interés comercial, esto se debe a los diversos beneficios que ofrece, como su rápido crecimiento y los diversos usos que se le asignan (Jiménez, 2016, pp. 23-24).

Es considerada como una especie exótica que, a corto y mediano plazo, ha superado a otras especies nativas del trópico en términos de crecimiento y producción de madera, también tiene bajos costos de manejo silvícola (Jiménez, 2016, p. 24), así mismo por sus características singulares como su excelente capacidad de rebrote, sin que haya una necesidad de volver a sembrar un nuevo árbol, la cual ha crecido hasta convertirse en un factor importante en el desarrollo y la economía de la nación generando la misma cantidad de empleo directo e indirecto que las especies plantadas (Proaño et al, 2019, pp. 82-98).

2.3 Descripción de la especie *Gmelina arborea* Roxb

2.3.1 Descripción taxonómica

Tabla 2-1: Descripción taxonómica

Clase:	Equisetopsida
Subclase:	Magnoliidae
Orden:	Lamiales
Familia:	Lamiaceae
Género:	<i>Gmelina</i>
Especie:	<i>Arborea</i>

Fuente: Tropicos, 2020

2.3.2 *Ecología y distribución de la especie*

Originaria de Asia, concretamente de la India en el Sub-Himalaya, se ha expandido desde que se encuentra esporádicamente en el oeste y el sur de la india, es un árbol razonablemente robusto para su peso y crece en regiones tropicales. Es cultivada en zonas de vida de bosque húmedo y extremadamente húmedo de la región tropical (Jiménez, 2016, p. 23).

2.3.3 *Distribución natural*

Crece en una variedad de hábitats en el área de su distribución natural que van desde seco a húmedo. Ocurre naturalmente principalmente en los bosques mixtos de Birmania, conectadas con *Tectona grandis*, *Terminalia tomentosa*, y otras especies latifoliadas y bambúes. En los bosques más húmedos de Birmania, desarrolla todo su potencial, puede crecer hasta 1200 metros de altitud en estas condiciones, especialmente en valles húmedos y fértiles (Jiménez, 2016, p. 23).

2.3.4 *Descripción dendrológica*

Según Jiménez (2016, pp. 24-25) es una especie pionera que prospera en bosques húmedos y crece rápidamente. Tiene una gran capacidad de rebrote, y los brotes crecen de forma rápida y vigorosa. Puede crecer hasta una altura de 30 metros y un diámetro de más de 80 centímetros en áreas secas, es de hoja caduca. En la mayoría de los casos, crece entre 6 y 9 metros de altura con un fuste limpio, así como una copa cónica, a pesar de ser densa en plantaciones es amplia en áreas abiertas, su corteza es lisa o escamosa de color marrón claro a grisáceo, en arboles de 6 a 8 años, la edad hace que el área engrosada de la base del tronco se exfolie, revelando una nueva corteza, más suave y de color más pálido, tiene raíces profundas, aunque en algunos suelos pueden ser superficiales con limitaciones de profundidad.

Su fuste es claramente cónico con un diámetro de 5 a 18 centímetros y ocasionalmente hasta 143 cm, carece de contrafuertes, aunque en ocasiones la base esta engrosada, posee hojas grandes, opuestas, enteras, dentadas, en ocasiones acorazonadas, el haz verde y glabra, el envés verde pálido y aterciopelado, nerviación reticulada, las flores amarillo anaranjadas numerosas en racimos, monoicas perfectas, cuya inflorescencia es en racimo o panícula cimosa terminal, su fruto carnoso tipo drupa, de forma ovoide u oblonga, carnoso, succulento. Inicia su ciclo de floración y fructificación a los 6 a 8 años (Jiménez, 2016, p. 25).

2.3.5 Factores limitantes para el desarrollo

No crece bien en suelos arcillosos, en pendientes superior al 30% o en zonas con poca profundidad, bajo contenido de materia orgánica y problemas de fertilidad, suelo seco, compactado, erosionado e inundado. El crecimiento también se ve obstaculizado por suelos poco profundos con capas pedregosas, impermeables y endurecidas, así como por suelos extremadamente ácidos, arenas secas o lixiviados. Es fundamental mantenerse alejado de sitios de plantación y usar solo buenos sitios porque el viento es otro factor que restringe su crecimiento normal, características y topografía que es típicamente plana (Jiménez, 2016, p. 28).

2.3.6 Requerimientos edáficos

Tabla 2-2: Necesidades edáficas de la especie *Gmelina arborea* Roxb

Parámetro ambiental	Ámbito
Textura de suelos	Franca y franca arcillosa, no crece bien en suelos arcillosos
pH de suelos	5 – 6
Topografía del terreno	Terrenos planos ondulados
Pendientes del terreno	No superiores al 30%
Profundidad efectiva de suelos (cm)	Mínima de 60, optima más de 100
Pedregosidad	Preferiblemente en terrenos sin pedregosidad
Fertilidad	Prefiere suelos fértiles
Resistencia a vientos	Es una especie intolerante a vientos fuertes
Humedad del suelo	No soporta suelos inundados, ni siquiera en forma temporal

Fuente: Chavarría y Valero, 1993

2.3.7 Topografía

Las mejores ubicaciones son plana u ondulada con una pendiente máxima del 30 %, sin pedregosidad y profundidad efectiva, lo ideal es que sea superior a los 100 cm con poca pendiente y baja humedad (Jiménez, 2016, p. 29).

2.3.8 *Requerimientos climáticos*

Tabla 2-3: Necesidades climáticas para el buen crecimiento de la especie *Gmelina arborea*

Parámetro ambiental	Ámbito (óptimos)
Distribución altitudinal	0 - 900 (0 - 600) (msnm)
Precipitación	1000 - 4000 (2000 - 2500) (mm)
Temperatura	18 - 38 (24 - 29) (°C)
Régimen de lluvia	8 - 9 meses de lluvia con 3 - 4 meses secos
Temperamento	Heliófila
Zonas de vida	Bosque seco tropical, bosque húmedo y muy húmedo tropical

Fuente: Chavarria y Valero, 1993

Como es evidente, hay muchas altitudes diferentes dentro del rango, a pesar de los casos que aconsejan sembrar Melina a 1200 msnm (metros sobre el nivel del mar), siempre se debe tomar para obtener los mejores resultados, se tiene en cuenta la altura óptima de 600 msnm (Jiménez, 2016, p. 29).

2.3.9 *Usos de la madera*

Es una madera sencilla de trabajar, y su principal beneficio es que le toman tan bien los tintes que se le pueden aplicar para darle tonalidades que se asemejan a las de otras especies como el cedro, roble, pino, etc. Su versatilidad lo convierte en una de las mejores opciones para producir bienes de alta calidad con un precio medio – alto. Es uno de los porque puede producir bienes primarios o secundarios a partir de su madera, las maderas domesticas e industriales más utilizadas. Como producto doméstico, sus hojas se utilizan como forraje, sus frutos y corteza se alimentan del ganado y su fibra se utiliza como tratamiento para las fiebres biliosas. Además, su fibra es extraída de madera usada, que al combinarse con maderas de mayor longitud da como resultado un papel de alta calidad (Sánchez, 2003, pp. 15-16).

Según Downs (2003, pp. 3-7), la madera de melina en algunas naciones es utilizada como planta melífera además de que se usa para instrumentos musicales, madera aserrada, leña y ebanistería. Esta madera también puede utilizarse como chapas decorativas, tableros (contrachapados, listonados, aglomerados o de partículas), la madera de aserrío es idónea para la construcción estructural y de obra liviana y en la edificación de barcos, cubiertas también se fabrican estribos,

carpintería básica (muebles, pisos livianos, archivadores, palillos para fósforos, gabinetes, canoas, puertas, ventanas, entre otras).

En Ecuador se desconoce la importancia en las características de la madera se la utiliza para la fabricación de pallets, tarimas, casi no se usa para hacer muebles por esto no se descarta que en un futuro sustituirá algunas maderas de la región y se convertirá en una madera pionera para los muebles y la madera de segunda mano que procede de los raleos, su fibra extraída que combinada con otras de mayor longitud se prepara su papel de mejor calidad y sus productos derivados como las hojas, corteza, frutos, que son utilizados como alimento para el ganado, también su fibra es usada como medicina contra fiebres biliosas y de las flores se separa la miel de la mejor calidad (Jiménez, 2016, pp. 33-34).

2.3.10 Estudios de fertilización en *Gmelina arborea*

El artículo de Alvarado et al. (2008, pp. 1-15), en la Revista Forestal presenta los resultados de un estudio que buscaba evaluar el impacto de cinco tipos de sustratos en el crecimiento, contenido de nutrientes en las hojas y concentración de clorofila en *Gmelina arborea* Roxb. Los sustratos utilizados fueron tres tipos de suelos (Ultisol, Andisol, Inceptisol) y dos suelos modificados (Ultisol mejorado con $\text{Ca CO}_3 + \text{N P K}$ y Andisol con N P K). Los hallazgos indicaron que el sustrato de Ultisol mejorado demostró tasas de crecimiento comparables o incluso superiores a los otros sustratos, respaldando la idea de que este tipo de suelo puede ser mejorado para proyectos de reforestación. Además, en este ensayo la melina mostró una mayor concentración de nutrientes como N, Ca, Mg, Zn y Mn cuando se cultivó en el sustrato de Ultisol mejorado. Sin embargo, las mediciones de clorofila no proporcionaron una consistencia suficiente para ser consideradas como indicadores confiables del vigor de las plantas en este estudio.

De acuerdo con Rojas et al. (2004, p. 158), hay escasa información documentada en la literatura respecto al impacto de la fertilización en el crecimiento de la especie durante la etapa de plantación. Sin embargo, llevaron a cabo un experimento genético donde aplicaron fertilizantes y observaron una respuesta positiva. Al aplicar cal, potasio y nitrógeno, sus investigaciones demostraron que los árboles de melina muestran un crecimiento vigoroso cuando el contenido foliar de nitrógeno (N) alcanza aproximadamente el 2,25% de la masa seca.

Una práctica común es utilizar fertilizantes que contengan una alta concentración de fósforo y nitrógeno antes de proceder a la siembra de los árboles. Además, se sugiere realizar una segunda fertilización aproximadamente 15 días después de haber establecido la plantación, según las recomendaciones de Rojas et al. (2004, p. 158).

2.4 Suelo

El suelo está constituido por minerales, materia orgánica, microorganismos vegetales y animales diminutos, así como aire y agua. Esta delgada capa se ha formado a lo largo de muchos siglos debido a la desintegración gradual de las rocas superficiales provocada por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen en el suelo, así como los que mueren y se descomponen en él, son procesados por microorganismos, transformándose en materia orgánica y mezclándose con el suelo (FAO, 1996, p. 38).

Cada componente del suelo es importante por sí mismo, pero lo esencial radica en mantener un equilibrio adecuado entre todos sus elementos constituyentes. La materia orgánica y los microorganismos desempeñan un papel fundamental al aportar y liberar los nutrientes necesarios y al unir las partículas minerales, lo que crea las condiciones idóneas con el propósito de que las plantas realicen la respiración, asimilen agua y nutrientes, y favorezcan el desarrollo de sus raíces. Además, las lombrices, bacterias y hongos son responsables de producir humus, una forma estable de materia orgánica que retiene agua y nutrientes lo que ayuda a prevenir la erosión del suelo (FAO, 1996, pp. 39-40).

2.4.1 Características del suelo

Las propiedades de cada suelo están determinadas por diversos factores, siendo los más significativos el tipo de roca que le dio origen, su edad, la topografía del terreno, el clima, la vegetación y la fauna que lo habita, y también las alteraciones provocadas por la actividad humana (FAO, 1996, p. 41).

2.4.2 La fertilidad

Es sabido que el crecimiento de las plantas depende del suministro de agua y ciertos minerales, los cuales son absorbidos por sus raíces desde el suelo. Un suelo es considerado fértil cuando posee los nutrientes requeridos, es decir, las sustancias esenciales para favorecer el adecuado crecimiento de las plantas. Además de obtener elementos como carbono, hidrógeno, oxígeno del aire y el agua, las plantas también requieren otros nutrientes esenciales que se encuentran en el suelo. Estos nutrientes principales, como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, provienen tanto de las rocas que originaron el suelo como de la materia orgánica descompuesta por los microorganismos. Es fundamental que los nutrientes estén siempre presentes en las cantidades y proporciones adecuadas para el óptimo desarrollo vegetal (FAO, 1996, p. 43).

2.5 Nutrientes y sus funciones en las plantas

2.5.1 Los nutrientes necesarios para el crecimiento

La gran mayoría de las plantas necesitan dieciséis elementos esenciales para su crecimiento, los cuales provienen tanto del aire como del suelo circundante. Los siguientes elementos son de origen derivado:

- Del aire, proviene el carbono (C) en forma de dióxido de carbono (CO₂).
- Del agua, se obtiene el hidrógeno (H) y el oxígeno (O) en forma de agua (H₂O).
- Del suelo, los fertilizantes y el abono animal suministran el nitrógeno (N).
- Las plantas leguminosas adquieren el nitrógeno directamente del aire mediante la ayuda de bacterias que residen en los nódulos de sus raíces.

Se consideran otros elementos químicos que, si bien pueden ser nutrientes beneficiosos para ciertas plantas, no son indispensables para el crecimiento de todas ellas.

La aplicación de fertilizantes, abonos o restos de cultivos en el suelo incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Estas cantidades de nutrientes son fundamentales para el desarrollo de los cultivos (FAO, 2002, p. 6).

2.5.2 *Funciones de los nutrientes*

Además del carbono (C), la planta absorbe todos los nutrientes que necesita del suelo. Estos nutrientes se dividen en dos categorías según su cantidad (clasificación cuantitativa):

- Macronutrientes, que a su vez se subdividen en nutrientes primarios y secundarios
- Micronutrientes

2.5.2.1 *Macronutrientes*

Dentro de este conjunto, encontramos dos categorías: los elementos primarios y los elementos secundarios. Estos elementos son requeridos en grandes cantidades para lograr cosechas satisfactorias y deben ser aplicados si el suelo carece de alguno de ellos.

Los macronutrientes primarios son esenciales para el crecimiento normal de las plantas y se necesitan en cantidades significativas. Estos nutrientes incluyen el nitrógeno, fósforo y el potasio, según lo mencionado por la FAO (2002, p. 7).

El nitrógeno (N) es el principal impulsor del crecimiento de las plantas, ya que representa del 1 al 4% del contenido seco de la planta. Se absorbe del suelo en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). Dentro de la planta, el nitrógeno se une a elementos producidos por el metabolismo de los carbohidratos para crear aminoácidos y proteínas. Dado que es un componente esencial de las proteínas, el nitrógeno juega un papel vital en todos los procesos cruciales para el desarrollo de las plantas y en la producción de rendimiento. Además, un suministro adecuado de nitrógeno es crucial para la absorción de otros nutrientes para la planta (FAO, 2002, p. 8).

El fósforo (P) representa del 0,1 al 0,4% del contenido seco de la planta y desempeña un papel crucial en la transferencia de energía. Por esta razón, es esencial para la fotosíntesis y otros procesos químicos – fisiológicos. Además, resulta indispensable para la diferenciación celular y el desarrollo de los tejidos que forman los puntos de crecimiento de la planta. En la mayoría de los suelos naturales o agrícolas, el fósforo es escaso, o su disponibilidad se ve limitada debido a la fijación de este (FAO, 2002, p. 8).

El potasio (K), que representa del 1 al 4% del contenido seco de la planta, desempeña múltiples funciones. Actúa como activador de más de 60 enzimas, que son sustancias químicas encargadas de regular procesos vitales. Debido a esto, el potasio juega un papel importante en la síntesis de carbohidratos y proteínas. Además, el K mejora el equilibrio de agua en la planta y aumenta su resistencia ante condiciones de sequía, heladas y salinidad. Las plantas que tienen suficiente potasio son más resistentes a enfermedades. Los elementos secundarios en cuestión son el magnesio, el azufre y el calcio. Las plantas también los absorben en cantidades significativas, generalmente disponibles en el suelo, pero en caso de deficiencia, es necesario añadirlos (FAO, 2002, p. 8).

El magnesio (Mg) es un componente esencial de la clorofila, el pigmento verde presente en las hojas que actúa como receptor de la energía solar. Por esta razón, entre el 15% y el 20% del magnesio en la planta se encuentra en las partes verdes. El magnesio también participa en reacciones enzimáticas asociadas a la transferencia de energía en la planta. Un síntoma adicional de la deficiencia de magnesio puede ser la decoloración temprana y la caída prematura de las hojas (FAO, 2002, p. 8).

El calcio (Ca) es indispensable para el desarrollo de las raíces y como componente estructural del tejido celular de las membranas. Los iones de calcio (Ca^{2+}) desempeñan un papel importante en la formación de nuevas paredes celulares, especialmente en la zona intermedia que separa las células recién divididas. Además, el calcio se emplea durante la división celular del huso mitótico. Es necesario para el funcionamiento normal de las membranas de las plantas y se ha implicado como segundo mensajero en varias respuestas de las plantas a señales hormonales y ambientales. El calcio es un elemento imprescindible que regula numerosas funciones esenciales de la planta tanto a nivel cualitativo como cuantitativo. Debido a sus características únicas de unión química, el calcio adquirió una posición central en la evolución de procesos químicos (McLaughlin y Wimmer, 1999, pp. 373-417).

De acuerdo con la FAO (2002, p. 9), aunque la mayoría de los suelos contienen una cantidad adecuada de calcio (Ca) para las plantas, la deficiencia puede presentarse en suelos tropicales muy pobres en calcio. No obstante, el objetivo principal de aplicar Ca es llevar a cabo un proceso conocido como encalado, el cual consiste en reducir la acidez del suelo.

2.5.2.2 *Micronutrientes*

Los elementos nutritivos esenciales que son utilizados por las plantas en cantidades relativamente bajas se conocen como micronutrientes u oligoelementos. Estos incluyen el hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y el boro (B). Estos micronutrientes forman parte de sustancias clave para el crecimiento de la planta y pueden compararse con las vitaminas en la nutrición humana. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un suministro excesivo de boro puede tener efectos adversos en la cosecha siguiente (FAO, 2002, p. 9).

Algunos micronutrientes beneficiosos y significativos para ciertas plantas incluyen el sodio (Na), que es importante para la remolacha azucarera y el silicio (Si), que fortalece los tallos de los cereales para resistir el vuelco. El cobalto juega un papel relevante en el proceso de fijación de nitrógeno en las leguminosas. Sin embargo, algunos micronutrientes pueden volverse tóxicos para las plantas en niveles ligeramente superiores a lo normal. En la mayoría de los casos, esto ocurre en suelos con un pH muy ácido. La toxicidad más pronunciada se observa en el aluminio y el manganeso, especialmente en suelos ácidos (Guarnizo y Palacios, 2008, pp. 21-22).

Es relevante destacar que todos los nutrientes, independientemente de si son requeridos en cantidades pequeñas o grandes, desempeñan una función específica tanto en el crecimiento de la planta como en su alimentación. Es fundamental comprender que un nutriente no puede reemplazar a otro en su función particular (FAO, 2002, pp. 9-10).

2.6 Fertilizantes

Cualquier sustancia que se agregue al suelo con el propósito de proporcionar uno o más nutrientes a las plantas para mejorar su crecimiento se considera un fertilizante (Cooke, 1975, pp. 33-40).

Los fertilizantes pueden ser clasificados de diversas formas, como según su naturaleza, estado físico, formulación, modo de aplicación y calidad. A continuación, se muestra un diagrama que presenta la clasificación de los fertilizantes según Thompson y Troeh (2002, pp. 35-89).

Tabla 2-4: Clasificación de los fertilizantes

Clasificación de los fertilizantes		
1. Por su naturaleza	* Orgánicos * Minerales * Mixtos	* Naturales * Sintéticos
2. Por su estado físico	* Líquidos * Sólidos granulados * Sólidos cristalinos * Gaseosos	* Complejos * Compuestos * Blending
3. Por su modo de aplicación	* Para la aplicación al suelo * Para fertirrigación * Abonos foliares	
4. Por su calidad	* Convencionales * Especiales	

Fuente: Thompson y Troeh, 2002

2.7 Fertilizantes utilizados en la investigación

2.7.1 Urea

Según Moreno Peña (2015, p. 9), la urea es un fertilizante importante debido a que es la fuente de nitrógeno más ampliamente utilizada en la agricultura, gracias a su alto contenido de nitrógeno (46%) y su bajo costo. Las plantas no pueden absorber directamente la urea, pero cuando se aplica al suelo, se hidroliza en amonio. Durante este proceso de hidrólisis, puede haber pérdida de nitrógeno debido a la lixiviación de urea o a la volatilización de amonio. Además, cuando el suelo está cargado eléctricamente, la urea no puede ser absorbida debido a su neutralidad. También, puede moverse fácilmente hacia el borde del bulbo humedecido por el sistema de riego, lo que evita que las raíces la alcancen (Ugarte et al., 2007, p. 71).

2.7.2 Muriato de potasio

El cloruro de potasio (KCL), también conocido como Muriato de potasio, es un fertilizante potásico ampliamente utilizado debido a su relativo bajo costo y a que proporciona una mayor cantidad de potasio en comparación con la mayoría de otras fuentes, con un contenido del 50 al 52% de K (60 a 62% de K₂O) y 45 a 47% de cloro. Este fertilizante puede esparcirse en la superficie del suelo antes de la labranza y la siembra. También puede aplicarse concentrado cerca de la semilla, ya que se disuelve rápidamente en el agua del suelo y su colocación al lado de la semilla evita dañar la planta en su etapa de germinación debido a un aumento en la concentración de sal soluble (Requena, 2019, p. 25).

2.7.3 Fertilizante 10 – 30 – 10

Según SERACSA (2010, p. 1), este fertilizante ha sido especialmente formulado para promover el crecimiento de las raíces y al mismo tiempo, corregir las deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio en diversos cultivos, como plantas ornamentales, árboles frutales, plantas de flor, hortalizas, entre otros. Su objetivo es proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios para un desarrollo óptimo y saludable, lo que resulta en cultivos más vigorosos y productivos.

2.8 Fertilización

La fertilización o el abonado se basa en la aplicación de fertilizantes o nutrientes, los cuales se incorporan inmediatamente de acuerdo con las necesidades nutricionales de la planta al suelo o disuelto en el agua de riego. Para determinar una estrategia de fertilización en cada cultivo y etapa de desarrollo se toma en cuenta la cantidad de nutrientes que necesita el cultivo, en kilogramos por hectárea, en función de su estado de desarrollo, así mismo cual fertilizante sería el ideal. El momento de la aplicación y el de incorporación (Villablanca y Villavicencio, 2010, p. 1).

Se aconseja calcular un balance nutricional completo, del cual depende mucho, para determinar la dosis de fertilización. Fertilizar la cosecha anterior y agregar enmiendas son ejemplos del trasfondo cultural orgánico, tipo de cultivo anterior, residuos de cultivos, etc. Además de como el afecta como se mineraliza el nitrógeno. En la tabla 2-5 se muestra un listado de los fertilizantes más usados en la agricultura (Villablanca y Villavicencio, 2010, pp. 1-2).

Tabla 2-5: Solubilidad y fertilizantes más utilizados en agricultura

Composición %					
Tipo de fertilizante	N	P	K	Otro	Solubilidad
Nitrogenados					
Nitrato de amonio	34	0	0	0	Solubilidad media
Sulfato de amonio	21	0	0	0	Muy soluble
Nitrato de calcio	15,5	0	0	Ca (26)	Muy soluble
Urea perlada	46	0	0	0	Muy soluble
Nitrato de magnesio	27	0	0	Mg (4)	Solubilidad media
Fosfatados					
Ácido fosfórico	0	52	0	0	Muy soluble
Fosfato monoamónico	10	50	0	0	Solubilidad media
Fosfato diamónico	18	46	0	0	Solubilidad media
Superfosfato triple	0	46	0	0	Poco soluble
Potásicos					
Cloruro de potasio	0	0	60	0	Solubilidad media
Nitrato de potasio Crist.	13	0	44	0	Muy soluble
Sulfato de potasio	0	0	50	0	Solubilidad media

Fuente: Villablanca y Villavicencio, 2010

La fertilización tiene como objetivo impulsar la supervivencia y el desarrollo adecuado para la planta, ya que promueve el crecimiento de sus raíces y maximiza el uso efectivo del agua con la absorción eficiente y suficiente de nutrientes asegurar su desarrollo inicial y supervivencia, lo cual asegura una óptima ocupación del suelo (Albaugh et al., 2004, pp. 5-15).

2.8.1 Fertilización forestal

Los árboles, al igual que todas las plantas, requieren un conjunto de nutrientes esenciales, los cuales están compuestos por una serie de elementos químicos que, si no se encuentran presentes en el suelo, impiden su crecimiento normal (Muñoz, 1975, pp. 23-25).

Cuando se realiza la cosecha de un área de árboles, se extraen cantidades significativas de nutrientes del suelo. A largo plazo, esta extracción puede disminuir considerablemente la productividad del suelo. Además, la práctica común de recolectar los restos vegetales del suelo en las plantaciones agrava esta pérdida. Debido a que las hojas son ricas en nutrientes, juegan un papel fundamental en el reciclaje de nutrientes. Por lo tanto, es importante reconocer que una plantación en sí no siempre mejora el suelo, ya que puede reducir significativamente el estado nutricional del lugar si no se maneja adecuadamente (Galloway, 1986, pp. 27-30).

Se ha buscado mejorar el crecimiento y aumentar la producción de madera mediante el uso de fertilización, una práctica que fue experimentada por primera vez en Francia en 1847 por Chevalier de Valdrone. En la actualidad, se ha demostrado plenamente que esta práctica puede incrementar el rendimiento y el crecimiento de los bosques de manera significativa. Un tratamiento adecuado de fertilización aplicado en las etapas iniciales tiene un retorno positivo en términos de mayor supervivencia de las especies plantadas (Muñoz, 1975, pp. 23-25).

En silvicultura, el abonado no es una práctica anual como en las plantas cultivadas convencionales. Primero, es una fertilización para la etapa de establecimiento de la plantación, que a veces puede extenderse durante varios años, especialmente en lo que se refiere a la fertilización nitrogenada, con el objetivo de lograr un desarrollo rápido de la plantación forestal. Luego, una vez que la plantación ha crecido, se convierte en una fertilización "final" realizada en intervalos más o menos amplios, con el propósito de aumentar el volumen de madera producido y reducir la duración del período de inversión en fertilizantes (Gros, 1981, pp. 25-28).

Según Mustanoja y Leaf, citados por Loaiza, la fertilización forestal se puede definir como un cambio en la calidad del rodal a través de la modificación del entorno físico mediante mejoras adicionales. Por lo tanto, el uso de fertilizantes se justifica para aprovechar el potencial genético de árboles de rápido crecimiento, que pueden prosperar en suelos altamente fértiles o en suelos mejorados con fertilizantes (Guarnizo y Palacios, 2008, p. 41).

En Australia y Nueva Zelanda, se han utilizado fertilizantes, principalmente al momento de la plantación, para corregir síntomas de deficiencia en plantaciones establecidas. Esto ha permitido transformar bosques económicamente poco productivos en bosques de producción, generando beneficios significativos en la gestión de tierras y en la economía de ambos países (Guarnizo y Palacios, 2008, p. 41).

Durante los primeros años, las plantaciones jóvenes ocupan el terreno de manera escasa y se enfrentan a una fuerte competencia de la vegetación espontánea como hierbas, matorrales y arbustos, hasta que logran predominar sobre ellas y la plantación se vuelve más densa o "cerrada". Una fertilización en toda la superficie favorecería el crecimiento de la vegetación espontánea a expensas de los jóvenes árboles, por lo que es más beneficioso aplicar el fertilizante en los hoyos de plantación o en líneas o bandas a ambos lados de las filas de árboles, con el objetivo de favorecer el rápido crecimiento y desarrollo de las plántulas para que ocupen todo el terreno de manera efectivo (Guarnizo y Palacios, 2008, p. 41).

El uso adecuado de fertilizantes ha sido un factor importante para establecer plantaciones forestales en varias partes del mundo, como Brasil, Sur África Occidental y Oriental, Chile, Australia y Nueva Zelanda, entre otros. En numerosos casos, los ensayos de fertilización han demostrado claramente que esta práctica ha permitido el éxito de las plantaciones forestales, donde anteriormente habían fracasado. A nivel mundial, se han fertilizado un total de 15 millones de hectáreas, lo que representa menos del 1% del volumen total de fertilizantes utilizados en la agricultura (Guarnizo y Palacios, 2008, p. 42).

2.8.2 Métodos de fertilización

El método de aplicación de fertilizantes ya sea abono orgánico o fertilizantes minerales, es un aspecto crucial de las buenas prácticas agrícolas. La cantidad y el momento de absorción de los nutrientes están influenciados por una serie de factores (variedad del cultivo, época de siembra, rotación de cultivos y las condiciones del suelo y el clima). En prácticas agrícolas eficientes, el agricultor selecciona la cantidad y el momento adecuado para que las plantas utilicen los nutrientes de manera óptima. Con el fin de lograr un cultivo productivo y minimizar la contaminación del medio ambiente, es fundamental suministrar los nutrientes en el momento preciso que el cultivo los requiere. Esto es especialmente relevante para nutrientes móviles como el nitrógeno, que pueden lixiviar fácilmente del perfil del suelo si no son absorbidos por las raíces de las plantas (FAO, 2002, p. 48).

En regiones donde se esperan lluvias abundantes, es recomendable incorporar inmediatamente los nutrientes primarios y secundarios después de su aplicación para evitar pérdidas por escurrimiento y erosión y cuando se aplica el fertilizante de forma manual, se debe tener especial cuidado para distribuir los nutrientes de manera uniforme y en las dosis exactas. En el caso de utilizar equipos de aplicación de fertilizantes, estos deben ajustarse adecuadamente para asegurar una dispersión uniforme y en las proporciones correctas. Es importante mantener el equipo en buenas condiciones para su óptimo funcionamiento (FAO, 2002, pp. 48-49).

2.8.2.1 *A voleo*

El método de esparcimiento a voleo del fertilizante, es decir, aplicándolo directamente sobre la superficie del campo, se utiliza principalmente en cultivos densos sin sembrar en filas o en filas densas, como en el caso de los pequeños granos y prados. También se emplea cuando los fertilizantes deben incorporarse en el suelo después de la aplicación para que sean efectivos (fertilizantes fosfatados) o para evitar pérdidas por evaporación de nitrógeno (urea, fosfato diamónico). La incorporación mediante labranza o arado también es recomendada para mejorar el nivel de fertilidad de toda la capa arable. Se recomienda que si se esparce con la mano el fertilizante o algún equipo esto debe ser lo más uniforme posible (FAO, 2002, p. 49).

2.8.2.2 *Localización en bandas o hileras*

Cuando se realiza una aplicación localizada del fertilizante, este se coloca únicamente en áreas específicas del campo durante la siembra. Se concentra en zonas determinadas del suelo, pudiendo ser en bandas o en una franja debajo de la superficie del suelo, al lado y debajo de la semilla. Este procedimiento puede llevarse a cabo manualmente o mediante el uso de equipos especializados de siembra y/o aplicadores de fertilizantes, como una sembradora que permite combinar la siembra de semillas y fertilizante. Es más recomendable utilizar esta técnica en cultivos en hileras, donde existe una mayor separación entre las filas, como el maíz, el algodón y la caña de azúcar. También es adecuada para suelos que tienden a fijar fosfato y potasio, o cuando se emplean cantidades relativamente pequeñas de fertilizantes en suelos con una baja fertilidad (FAO, 2002, pp. 49-50).

Según la FAO (2002, p. 50), en áreas donde los cultivos se cultivan a mano y se siembran en colinas, se recomienda colocar la cantidad recomendada de fertilizante en la hilera o en el hoyo excavado, preferiblemente medida con un tarro o lata, y luego cubrirlo con tierra, debajo o al lado de la semilla. Es importante tener mucho cuidado para evitar colocar el fertilizante demasiado cerca de la semilla o de la plántula, ya que esto podría causar toxicidad y dañar las raíces del cultivo (quemándolas).

2.8.2.3 *Aplicación en cobertura*

Consiste en esparcir el fertilizante a voleo sobre un cultivo ya establecido, es comúnmente utilizado en cultivos de granos pequeños y grandes, así como en cultivos forrajeros. Esta práctica es especialmente adecuada en suelos que requieren una mayor cantidad de nitrógeno, y en cultivos donde una sola aplicación de la cantidad total de nitrógeno necesaria durante la siembra podría resultar en pérdidas por lixiviación. También se utiliza en cultivos que muestran una demanda especial de nitrógeno en ciertas etapas de su desarrollo. El nitrato móvil se desplaza hacia las capas inferiores del suelo y puede ser absorbido por las raíces de las plantas (FAO, 2002, p. 50).

2.8.2.4 *Aplicación entre líneas*

Es una técnica que consiste en colocar el fertilizante al lado de las plantas que están espaciadas ampliamente en filas, como ocurre con cultivos como el maíz, algodón y caña de azúcar. Esta práctica también se emplea para abonar árboles y otros cultivos perennes (FAO, 2002, p. 51).

2.8.2.5 *Aplicación foliar*

Es el método más efectivo para suministrar micronutrientes (de igual manera N, P y K para situaciones críticas) que son necesarios en pequeñas cantidades y pueden volverse no disponibles si se aplican al suelo. Para evitar dañar las hojas, es importante respetar la concentración recomendada y preferiblemente aplicar en días nublados y en las primeras horas de la mañana o las últimas del atardecer para evitar que las gotas se sequen inmediatamente (FAO, 2002, p. 51).

2.8.3 Cálculo de la dosis de los fertilizantes

Para realizar el cálculo de la cantidad de fertilizante que se debe aplicar en una hectárea o el sitio se establece considerando la cantidad de nutrientes que se requieren y los diferentes tipos de fertilizantes. Los fertilizantes minerales generalmente se venden en bolsas de 50 kg. Por lo tanto, el agricultor debe saber la cantidad de nutrientes contenidos en una bolsa. Para determinar fácilmente el contenido de nutrientes de la bolsa de fertilizante, solo se debe dividir a la mitad el número impreso de la etiqueta del saco (FAO, 2002, p. 44).

Por ejemplo, para suministrar 60 kg/ha de N utilizando sulfato amónico (AS) con un 21 por ciento de N, primero dividimos 21 por 2, lo que nos da 10.5. Por lo tanto, aproximadamente se necesitan seis bolsas de AS para proveer un poco más de 60 kg/ha de N. Además, estas seis bolsas de AS también proporcionarán 72 kg/ha de azufre (S) debido a que el sulfato amónico contiene un 24 por ciento de azufre.

En un campo con un área de 500 m² (metros cuadrados), la cantidad de fertilizante requerida sería un vigésimo de la cantidad necesaria por hectárea. Esto se debe a que una hectárea es igual a 10,000 m², por lo que al dividir la cantidad de fertilizante necesaria por hectárea entre 20, se obtiene la cantidad necesaria para un área de 500 m², la cual necesitaría 15 kg de sulfato amónico para aplicar la cantidad de nitrógeno correspondiente a 60 kg/ha de N.

2.9 Variables que se evaluaron

2.9.1 Variables cuantitativas

Las variables cuantitativas son aquellas que pueden ser cuantificadas y expresadas en valores numéricos. Su distribución es de tipo escalar, lo que permite asignarles valores mayores o menores (como el número de eritrocitos, peso o talla). Estas variables pueden ser continuas o discretas, dependiendo de la naturaleza de los datos (Cuestas, 2009, p. 118).

2.9.1.1 Diámetro a la altura del pecho

El diámetro a la altura del pecho (DAP) es una medida utilizada para determinar el grosor o diámetro de un árbol a una altura estándar, generalmente a 1.30 metros sobre el nivel del suelo. Esta medida es comúnmente utilizada en estudios forestales y para estimar el tamaño y la edad de los árboles (Aguilar, 2018, p. 5).

2.9.1.2 Altura total

En contexto forestal generalmente la altura se refiere a la medida de la altura de un árbol desde la base hasta la punta de su copa, es utilizada como una medida importante para evaluar el crecimiento y desarrollo de los árboles y puede utilizarse para estimar el volumen de madera, la biomasa, y otros parámetros útiles en la silvicultura y el manejo forestal (FAO, 2004, pp. 74-77).

2.9.1.3 Área foliar

El área foliar que una planta logra durante etapas específicas de su desarrollo es un dato esencial para calibrar, adaptar y aplicar de manera adecuada los modelos de simulación agroambientales. Es ampliamente reconocido que el tamaño del área foliar (ÁF) determina la capacidad de la cubierta vegetal para capturar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), que constituye la fuente principal de energía empleada por las plantas para la síntesis de tejidos y la elaboración de compuestos alimenticios (Warnock et al, 2006, p. 23).

La información sobre el ÁF es de gran relevancia para entender y prever el crecimiento de las plantas en diversos entornos y prácticas agrícolas. Asimismo, tiene un papel importante en la investigación agrícola y en la toma de decisiones para optimizar el rendimiento de los cultivos y el uso eficiente de los recursos naturales. Para obtener mediciones precisas del ÁF, se emplean distintos métodos como escaneo, fotografía digital, técnicas de planimetría o software de análisis de imágenes, siendo estos datos valiosos para mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Warnock et al, 2006, p. 23).

3.1.2 *Ubicación geográfica*

Tabla 3-1: Ubicación geográfica del área de estudio

UTM	Zona 18 SUR	Precipitación anual
DATUM	WGS 84	3000 a 6000 mm
Latitud	0° 69′ 8,889″ S	
Longitud	77° 31′ 3,056″ O	Humedad relativa
Altitud	420 msnm	88%

Fuente: GADPR Puerto Murialdo, 2019

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

3.1.3 *Condiciones climáticas*

El cantón Loreto se encuentra a 415 msnm, con una precipitación aproximada de 3 000 a 6 000 mm (milímetros) y una humedad de 88% conservándose los valores altos en promedio anual (PDOT del cantón Loreto, 2015, p. 10).

3.1.4 *Clasificación ecológica*

A escala regional el cantón Loreto corresponde a 9 tipos de vegetación según PDOT del cantón Loreto (2015, p. 40). El área de estudio pertenece según el Ministerio del ambiente del Ecuador citado por Ministerio del ambiente (2018, p. 6), se clasifica como un Bosque siempreverde de tierras bajas del Napo.

3.2 **Materiales y equipos**

3.2.1 *Materiales de campo*

Los materiales de campo utilizados son balizas de caña guadua, cintas de colores para diferenciar los tratamientos, cuaderno de campo, cinta métrica, pie de rey, cámara fotográfica de celular y los formularios de campo de Excel, fertilizante 10 30 10, urea y muriato de potasio.

3.2.2 *Materiales de oficina*

Los materiales de oficina utilizados son la computadora, software ArcGIS PRO, Google earth, el programa estadístico Infostat y el programa informático Excel y Word.

3.3 Metodología

La presente investigación se realizó para obtener datos dasométricos, para evaluar el crecimiento inicial de la especie *Gmelina arborea* Roxb, bajo los parámetros cuantitativos y así poder identificar que dosis presenta un mejor resultado en las plantaciones.

3.4 Localización de las unidades de muestreo

Se realizó la geolocalización de las parcelas con la utilización de un GPS con el fin de definir geográficamente la zona de estudio de cada uno de los bloques.

3.5 Diseño de las unidades de muestreo

En esta investigación se estableció las unidades de muestreo utilizando un diseño en bloques incompleto al azar, el cual consta de cuatro bloques, tiene tres tratamientos: T1, T2, T3 que corresponden a las combinaciones de las dosis de fertilizantes y un testigo (T4), cada tratamiento posee cuatro repeticiones R1, R2, R3 y R4 cada repetición cuenta con un total de 20 plantas, un total de 80 plantas por cada tratamiento y el testigo (T4) solo se repite dos veces: R1 y R2, un total de 40 plantas y 280 plantas en total evaluadas en la investigación.

A estos tratamientos se les realizaron cuatro replicas en cada bloque, mientras que a los testigos se les realizo dos replicas en dos bloques, obteniendo 14 unidades experimentales.

Cada tratamiento está compuesto por diferentes dosis baja, media y alta con la combinación de los fertilizantes 10 30 10, urea y muriato de potasio, en cambio el testigo no tiene fertilización, pero si un manejo silvicultural que se le realizo a todo el estudio.

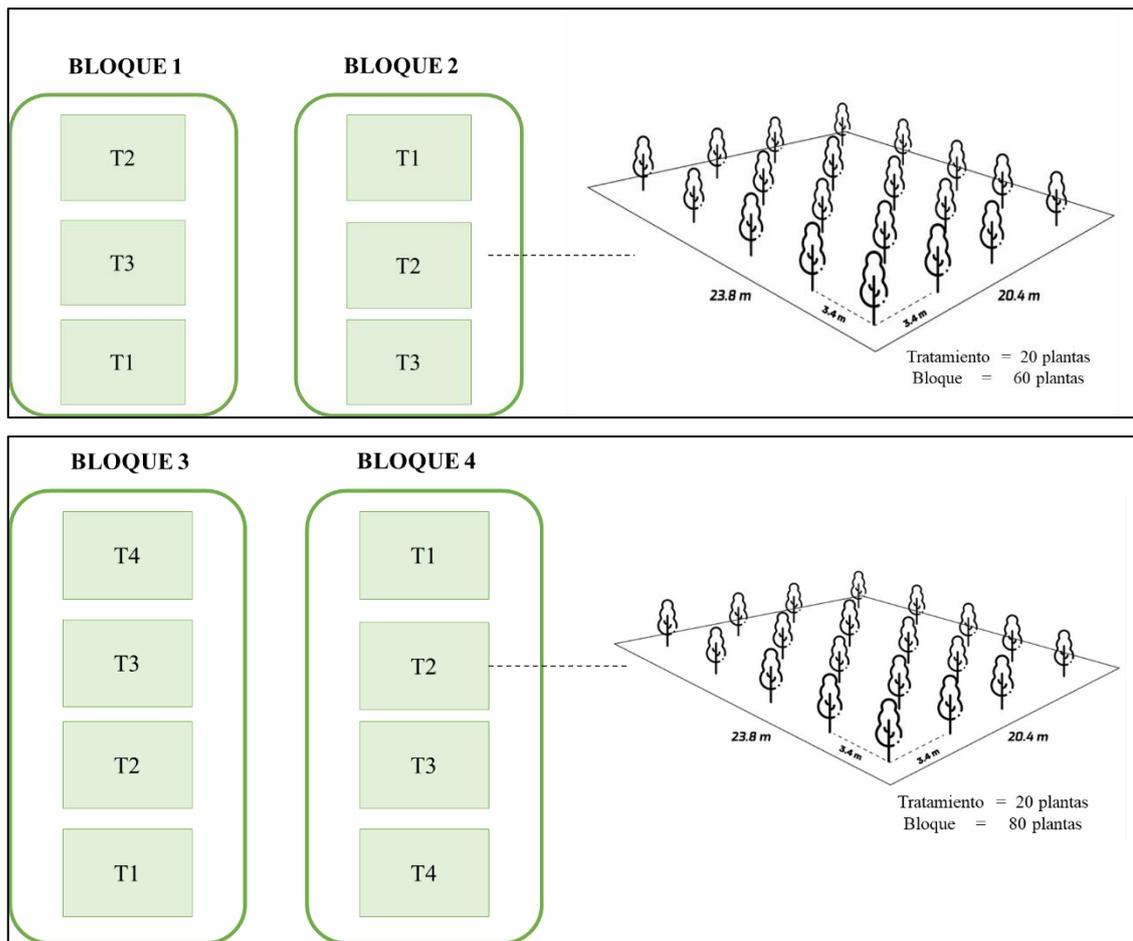


Ilustración 3-2: Diseño experimental de la investigación

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

3.6 Establecimiento de la plantación

Se procedió a ubicar el área experimental cuyas características sean las más apropiadas para el estudio como pendiente, superficie requerida para la investigación, homogeneidad de dicha superficie, etc.

3.6.1 Identificación de área de estudio

Para definir el área de estudio de la presente investigación se realizó una visita y reconocimiento del lugar al cual se le delimito la zona de investigación con el objetivo de que el área no sea intervenida por los jornales de la empresa.

3.6.2 Instalación de la zona de estudio

El área de instalación es una plantación de cuatro meses de edad con una densidad de 3,4 m x 3,4 m con un total de 865 plantas por hectárea.

3.6.3 Balizado y colocación de cintas para identificar los tratamientos

Se realizó con las estacas de caña de guadua en el cual se procedió a ubicar una línea base por una hilera de plantación donde se colocó las estacas para continuar con la delimitación de las parcelas y conformar los bloques los cuales se hicieron en distancia horizontal como por el número de plantas y de parcelas, en estas divisiones las balizas fueron ubicadas con cintas de diferentes colores de acuerdo con su tratamiento y poder diferenciar los tratamientos de la investigación (cinta color rojo es la dosis baja (166,6 g), la cinta color azul es la dosis media (222,1 g), la cinta de color rosada es la dosis alta (277,7 g) y la cinta blanca es la del testigo).

3.7 Fertilizantes

Los fertilizantes utilizados y sus características son las siguientes:

- Abono completo N – P - K (10 30 10): con un contenido de 10 % de nitrógeno, 30 % de fosforo y 10 % de potasio, muy soluble en agua.
- Urea: concentración de nitrógeno del 46 %.
- Muriato de potasio: es una fuente de procedencia natural de potasio de elevada concentración (60 %)

El cálculo de la fertilización se realizó tomando en cuenta los 75, 100 y 125 gramos como dosis baja, media y alta, tomando en cuenta la cantidad de nitrógeno, fosforo y potasio que contiene cada fertilizante.

Tabla 3-2: Cantidad de N, P, K en los fertilizantes utilizados

FERTILIZANTES A USAR	N	P2O5	K2O	N	P	K
UREA	46			46		
10-30-10	10	30	10	10	13,094	8,3
Muriato de potasio		60				49,809

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

3.7.1 Cálculo de la dosis baja

Se consideraron los 75 gramos como punto de partida para calcular la dosis baja, en cada fertilizante, para poderlo mezclar.

Fertilizante 10 – 30 – 10

Primero calculamos los gramos de fosforo que contiene un saco de 50 kilogramos.

	kg	%
1 saco	50	100
		$13,094 = 6,547 \text{ kg}$
		$= 6547 \text{ g}$

Luego se hizo una relación con los 75 gramos para determinar la dosis del fertilizante 10 30 10.

	kg	g
1 saco	50	6547
		$75 = 0.57278 \text{ kg} * 1000$
		$= 572,78 \text{ g de 10 30 10}$

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis baja será 143,20 gramos por planta de 10 – 30 – 10.

Muriato de potasio

Primero calculamos los gramos del potasio que contiene un saco de 50 kilogramos.

	kg	%
1 saco	50	100
		$8,3 = 4,150 \text{ kg}$
		$= 4150 \text{ g}$

Segundo se realizó una relación con la cantidad del fosforo.

	kg	g
	50	4150
	0,57	= 47,54 g

$$75 \text{ g} - 47,54 \text{ g} = 27,46 \text{ g}$$

Tercero se hizo una relación del saco con la cantidad de potasio en el muriato.

	kg	g
	50	100
		49,81 = 24,90 kg * 1000
		= 24904,50 g

Por último,

	kg	g
	50	24904,50
		27,46 = 0,06 kg * 1000
		= 55,13 g de Muriato de Potasio

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis baja será 13,8 gramos por planta de Muriato de potasio.

Urea

Primero calculamos los gramos de nitrógeno que contiene un saco de 50 kilogramos.

	kg	%
1 saco	50	100
		10 = 5,0 kg
		= 5000 g

Segundo se realizó una relación con la cantidad del nitrógeno.

kg	g
50	5000
0,57	= 57,28 g

$$75 \text{ g} - 57,28 \text{ g} = 17,72 \text{ g}$$

Tercero se hizo una relación del saco con la cantidad de nitrógeno.

kg	g
50	100
	46 = 23 kg * 1000
	= 23000 g

Por último,

kg	g
50	23000
	17,72 = 0,04 kg * 1000
	= 38,5 g de Urea

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis baja será 9,6 gramos por planta de Urea.

3.7.2 Cálculo de la dosis media

Se consideraron los 100 gramos como punto de partida para calcular la dosis media, en cada fertilizante, para poderlo mezclar.

Fertilizante 10 – 30 – 10

Se realizó una relación de la cantidad del fósforo que contiene un saco con los 100 gramos para determinar la dosis del fertilizante 10 30 10.

$$\begin{array}{r} \text{kg} \qquad \qquad \text{g} \\ 50 \qquad \qquad 6547 \\ 100 = 0,76 \text{ kg} * 1000 \\ = \mathbf{763,71 \text{ g de 10 30 10}} \end{array}$$

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis media será 190,90 gramos por planta de 10 – 30 – 10.

Muriato de potasio

Primero calculamos los gramos del potasio que contiene un saco de 50 kilogramos.

$$\begin{array}{r} \text{kg} \qquad \qquad \% \\ 1 \text{ saco} \quad 50 \qquad 100 \\ 8,3 = 4,150 \text{ kg} \\ = \mathbf{4150 \text{ g}} \end{array}$$

Segundo se realizó una relación con la cantidad del fósforo

$$\begin{array}{r} \text{kg} \qquad \qquad \text{g} \\ 50 \qquad \qquad 4150 \\ 0,76 \qquad \qquad = \mathbf{63,38 \text{ g}} \end{array}$$

$$100 \text{ g} - \mathbf{63,38 \text{ g}} = 36,61 \text{ g}$$

Tercero se hizo una relación del saco con la cantidad de potasio en el muriato.

kg	g
50	100
	$49,81 = 24,9045 \text{ kg} * 1000$
	= 24904,50 g

Por último,

kg	g
50	24904,50
	$36,6 = 0,07 \text{ kg} * 1000$
	= 73,51 g de Muriato de Potasio

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis media será 73,51 gramos por planta de Muriato de potasio.

Urea

Primero calculamos los gramos de nitrógeno que contiene un saco de 50 kilogramos.

	kg	%
1 saco	50	100
		$10 = 5,0 \text{ kg}$
		= 5000 g

Segundo se realizó una relación con la cantidad del nitrógeno.

kg	g
50	5000
0,76	= 76,37 g

$$100 \text{ g} - 76,37 \text{ g} = 23,63 \text{ g}$$

Tercero se hizo una relación del saco con la cantidad de nitrógeno.

kg	g
50	100
	46 = 23 kg * 1000
	= 23000 g

Por último,

kg	g
50	23000
	23,63 = 0,05 kg * 1000
	= 51,4 g de Urea

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis media será 12,8 gramos por planta de Urea.

3.7.3 Cálculo de la dosis alta

Se consideraron los 125 gramos como punto de partida para calcular la dosis alta, en cada fertilizante, para poderlo mezclar.

Fertilizante 10 – 30 – 10

Primero calculamos los gramos de fosforo que contiene un saco de 50 kilogramos.

	kg	%
1 saco	50	100
		13,094 = 6,547 kg
		= 6547 g

Luego se hizo una relación con los 125 gramos para determinar la dosis del fertilizante 10 30 10

	kg	g
1 saco	50	6547
		$125 = 0,95 \text{ kg} * 1000$
		= 954,64 g de 10 30 10

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis alta será 238,66 gramos por planta de 10 – 30 – 10.

Muriato de potasio

Primero calculamos los gramos del potasio que contiene un saco de 50 kilogramos.

	kg	%
1 saco	50	100
		$8,3 = 4,150 \text{ kg}$
		= 4150 g

Segundo se realizó una relación con la cantidad del fosforo

	kg	g
	50	4150
	0,95	= 79,23 g

125 g – 79,23 g = 45,76 g

Tercero se hizo una relación del saco con la cantidad de potasio en el muriato.

	kg	g
	50	100
		$49,81 = 24,90 \text{ kg} * 1000$
		= 24904,50 g

Por último,

$$\begin{array}{r} \text{kg} \qquad \qquad \text{g} \\ 50 \qquad \qquad 24904,50 \\ 45,76 = 0,09 \text{ kg} * 1000 \\ = \mathbf{91,88 \text{ g de Muriato de Potasio}} \end{array}$$

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis alta será 22,97 gramos por planta de Muriato de potasio.

Urea

Primero calculamos los gramos de nitrógeno que contiene un saco de 50 kilogramos.

$$\begin{array}{r} \text{kg} \qquad \qquad \% \\ 1 \text{ saco} \quad 50 \qquad 100 \\ 10 = 5,0 \text{ kg} \\ = \mathbf{5000 \text{ g}} \end{array}$$

Segundo se realizó una relación con la cantidad del nitrógeno.

$$\begin{array}{r} \text{kg} \qquad \qquad \text{g} \\ 50 \qquad \qquad 5000 \\ 0,95 \qquad \qquad = \mathbf{95,46 \text{ g}} \end{array}$$

$$\mathbf{125 \text{ g} - 95,46 \text{ g} = 29,54 \text{ g}}$$

Tercero se hizo una relación del saco con la cantidad de nitrógeno.

$$\begin{array}{r} \text{kg} \qquad \qquad \text{g} \\ 50 \qquad \qquad 100 \\ 46 = 23 \text{ kg} * 1000 \\ = \mathbf{23000 \text{ g}} \end{array}$$

Por último,

$$\begin{array}{r} \text{kg} \qquad \qquad \text{g} \\ 50 \qquad \qquad 23000 \\ 29,54 = 0,06 \text{ kg} * 1000 \\ = \mathbf{64,2 \text{ g de Urea}} \end{array}$$

A esta cantidad se realizó una división para la cantidad de veces en las que se hizo la fertilización para que no ocurra un daño en la planta por la cantidad del fertilizante. Entonces la dosis alta será 16,05 gramos por planta de Urea.

3.7.4 *Época de fertilización*

La fertilización se la llevo a cabo en el mes de diciembre de 2022, con fertilizantes pesados individualmente, las medidas para cada fertilizante fueron calibradas debidamente.

3.7.5 *Aplicación del fertilizante*

Se realizó una aplicación de fertilizante, al inicio de la investigación cuando los árboles tenían cuatro meses de edad plantados. La aplicación de los fertilizantes se realizó de la siguiente manera: se colocó el fertilizante mezclado (10 30 10, urea y muriato de potasio) en 4 hoyos los cuales se ubicaron a 20 centímetros de la planta y los hoyos tienen una profundidad de 20 centímetros y estos se hicieron con palos de madera para una mayor dispersión del fertilizante, la medida se la realizó de manera individual para cada una de las plantas y para cada tratamiento.

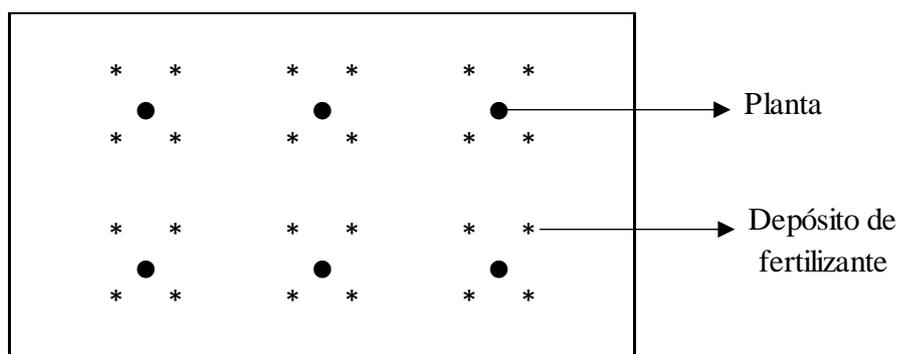


Ilustración 3-3: Distribución del fertilizante en cada árbol

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

3.8 Registro de datos de campo

Se realizó el registro de la información en el cuaderno de campo y desde el momento de la instalación del estudio se procedió a evaluar las variables cuantitativas como la altura, el diámetro y el área foliar. Además, se marcó con pintura roja cada árbol del lado en el que fueron tomados los primeros datos para no tener pérdida.

Las mediciones se hicieron al inicio de la investigación, luego de haber aplicado la primera fertilización se procedió a tomar los datos a los 40 días de igual manera se aplicó la segunda fertilización y así mismo se esperó 40 días para tomar datos esto se hizo también para la tercera aplicación.

3.9 Toma de datos de las variables cuantitativas

3.9.1 Diámetro a la altura del pecho

La medición del diámetro se realizó a partir del 1,30 metro de altura, y para los árboles que no alcanzaban esa altura se midió el diámetro a la altura del cuello de la plántula a los 0,05 metros del suelo el cual se marcó con pintura roja, para esta actividad se utilizó el pie de rey, los datos fueron registrados en las hojas de campo.

3.9.2 Altura

La altura total se midió desde el nivel del suelo hasta el meristema apical del árbol. En la medición se utilizó un flexómetro de 5 m y a los 80 días se utilizó un tubo PVC de 3 metros de longitud.

3.9.3 Área foliar

El área foliar fue medida a partir de un conteo de hojas el cual se registró en el cuaderno de campo.

3.10 Prueba estadística

Se utilizó el software Infostat para el análisis estadístico de la investigación para las variables cuantitativas como el diámetro a la altura del pecho, la altura y el área foliar las cuales fueron sometidas a pruebas estadísticas, Shapiro, Homocedasticidad, ANOVA y la prueba de Tukey.

3.10.1 Shapiro Wilk

Se realizó la prueba de Shapiro Wilk con los promedios de las variables cuantitativas de los 120 días después de la plantación, para verificar que los datos cumplan con la normalidad no obstante su p valor debe ser mayor a 0,05.

3.10.2 Homocedasticidad

Una vez que se compruebe la normalidad se procede a hacer la prueba de homocedasticidad donde su p valor debe ser mayor a 0,05.

3.10.3 ANOVA

El análisis de varianza para las variables se ejecutó con los promedios después de haber realizado la plantación, para comprobar que su p valor debe ser menor a 0,05.

3.10.4 Prueba de Tukey

Una vez que los datos cumplieron con los tres supuestos (normalidad, homocedasticidad y ANOVA), se realizó la prueba de Tukey al 5% para observar que tratamiento evaluado posee el valor más alto de las medias y cuantas características presenta la prueba.

3.10.5 Prueba no paramétrica

Friedman es un procedimiento no paramétrico utilizado cuando se tienen datos dependientes, con el fin de evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas. Este procedimiento compara las medianas de los distintos grupos obtenidos en el estudio estadístico (Amat, 2016, p. 1).

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Variables cuantitativas

4.1.1 Diámetro a la altura del pecho

El diámetro a la altura del pecho (DAP) se evaluó en diferentes momentos: al inicio, a los 40, 80 y 120 días. En el último registro, se encontró que el valor más alto de DAP fue de 9,36 cm, correspondiente al testigo (T4), mientras que el valor más bajo fue de 8,37 cm en la dosis media (T2). En comparación con el inicio de la investigación, donde el diámetro máximo registrado fue de 2,83 cm en el testigo (T4) y la más baja fue de 2,48 cm en la dosis media (T2).

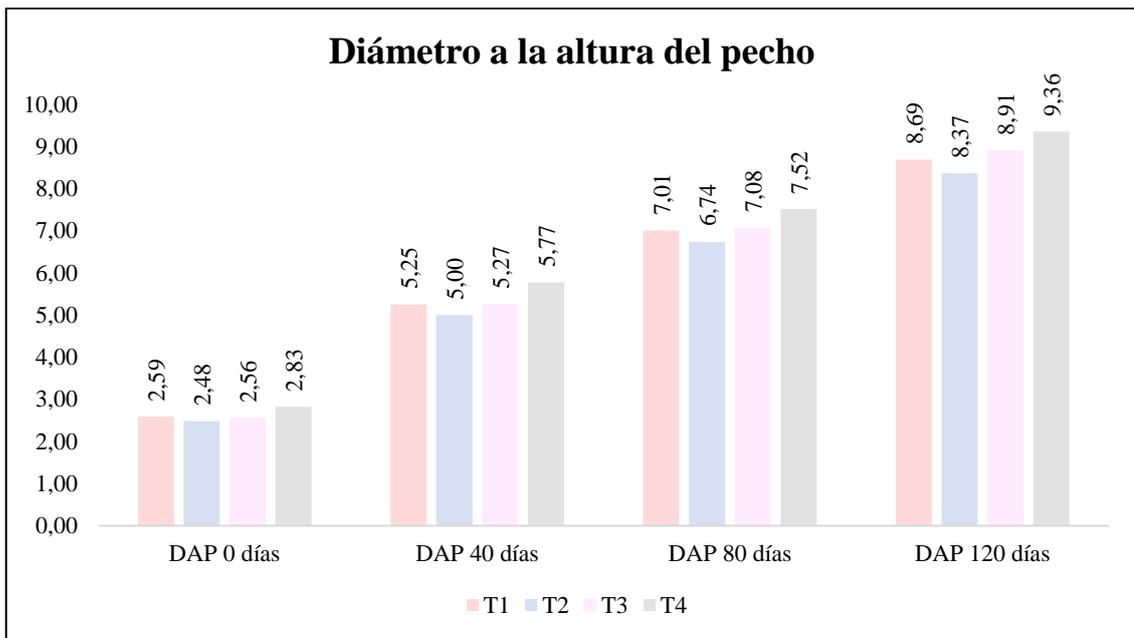


Ilustración 4-1: Diámetro a la altura del pecho

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.1.2 Altura

La altura se evaluó en diferentes momentos: al inicio, a los 40, 80 y 120 días. En el último registro, se encontró que el valor más alto de la altura fue de 7,20 m correspondiente a la dosis baja (T1), mientras que el valor más bajo fue de 6,37 m en la dosis media (T2). En comparación con el inicio

de la investigación, donde la altura máxima registrada fue de 2,82 m en el testigo (T4) y la más baja fue de 2,62 m en la dosis media (T2).

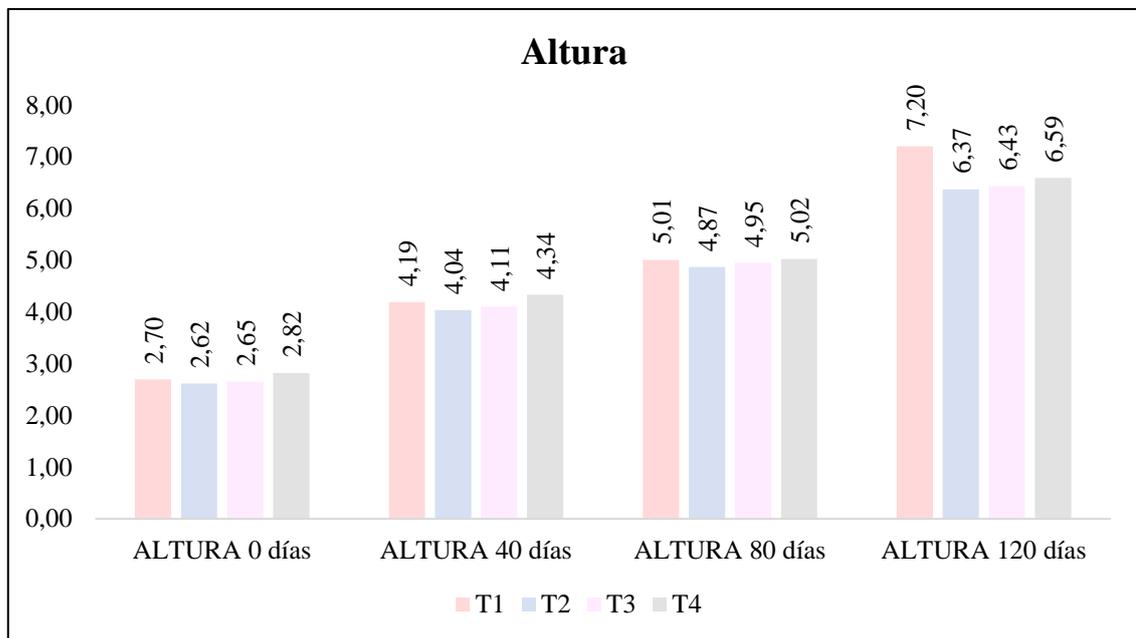


Ilustración 4-2: Altura total a los 120 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.1.3 Área foliar

El área foliar se evaluó en diferentes momentos: al inicio, a los 40, 80 y 120 días. En el último registro, se encontró que el valor más alto del área foliar fue de 28,31 correspondiente al testigo (T4), mientras que el valor más bajo fue de 26,83 de la dosis alta (T3). En comparación con el inicio de la investigación, donde la altura máxima registrada fue de 12,56 en el testigo (T4) y la más baja fue de 11,98 en la dosis baja (T1).

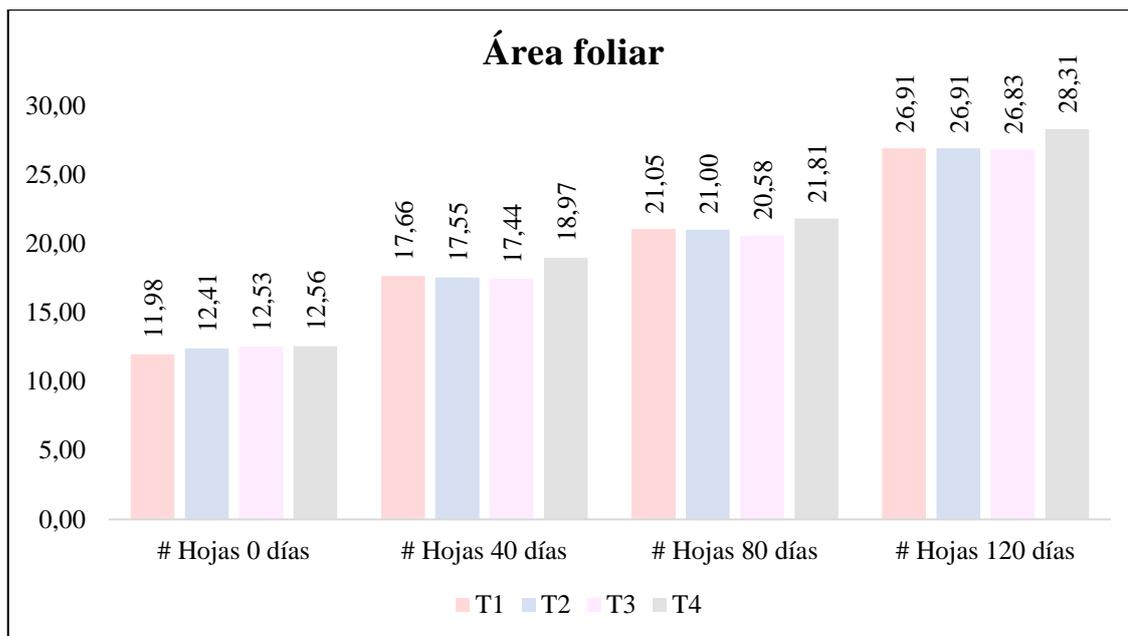


Ilustración 4-3: Área foliar a los 120 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023

4.2 Prueba de normalidad de las variables

4.2.1 Prueba de normalidad para el DAP de la planta

Según la Tabla 4-1, al realizar la prueba de Normalidad para la variable diámetro a la altura del pecho (DAP) en los diferentes momentos de evaluación, es decir, desde los 0 días hasta los 120 días después de la fertilización, se obtuvo un valor de p mayor a 0.05 (5%). Esto indica que la distribución de los datos cumple con la normalidad.

Tabla 4-1: Prueba de normalidad Shapiro Wilks - DAP

Variable	N	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
DAP 0 días	14	0	0,21	0,88	0,14
DAP 40 días	14	0	0,26	0,92	0,40
DAP 80 días	14	0	0,30	0,89	0,17
DAP 120 días	14	0	0,33	0,98	0,97

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.2 Prueba de normalidad para la altura

Según la Tabla 4-2, al realizar la prueba de Normalidad para la variable altura en los diferentes momentos de evaluación, es decir, desde los 0 días hasta los 120 días después de la fertilización, se obtuvo un valor de p mayor a 0.05 (5%). Esto indica que la distribución de los datos cumple con la normalidad.

Tabla 4-2: Prueba de normalidad Shapiro Wilk - Altura

Variable	N	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
Altura 0 días	14	0	0,15	0,92	0,40
Altura 40 días	14	0	0,23	0,93	0,55
Altura 80 días	14	0	0,22	0,93	0,49
Altura 120 días	14	0	0,21	0,94	0,62

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.3 Prueba de normalidad para el área foliar

Según la Tabla 4-3, al realizar la prueba de Normalidad para la variable área foliar en los diferentes momentos de evaluación, es decir, desde los 0 días hasta los 120 días después de la fertilización, se obtuvo un valor de p mayor a 0.05 (5%). Esto indica que la distribución de los datos cumple con la normalidad.

Tabla 4-3: Prueba de normalidad Shapiro Wilk – Área foliar

Variable	N	Media	D.E	W*	p (Unilateral D)
# Hojas 0 días	14	0	0,38	0,9	0,22
# Hojas 40 días	14	0	0,57	0,94	0,60
# Hojas 80 días	14	0	0,54	0,89	0,15
# Hojas 120 días	14	0	0,7	0,98	0,96

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.4 Prueba de homocedasticidad del DAP

Con respecto a la Tabla 4-4, al realizar la prueba de homocedasticidad para la variable diámetro a la altura del pecho, se encontró un p – valor mayor a 0,05. Por lo tanto, se concluye que el DAP

cumple con la homocedasticidad en los diferentes momentos de evaluación, desde los 0 días hasta los 120 días.

Tabla 4-4: Prueba de homocedasticidad, DAP

FV	SC	GI	CM	F	p-valor
DAP 0 días	0,05	3	0,02	1,36	0,59
DAP 40 días	0,08	3	0,03	2,26	0,17
DAP 80 días	0,11	3	0,04	0,99	0,45
DAP 120 días	0,15	3	0,05	1,62	0,27

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.5 Prueba de homocedasticidad de la altura

Con respecto a la Tabla 4-5, al realizar la prueba de homocedasticidad para la variable altura, se encontró un p – valor mayor a 0,05. Por lo tanto, se concluye que la altura cumple con la homocedasticidad en los diferentes momentos de evaluación, desde los 0 días hasta los 120 días.

Tabla 4-5: Prueba de homocedasticidad de la altura

F.V.	SC	GI	CM	F	p – Valor
Altura 0 días	0,03	3	0,01	0,87	0,50
Altura 40 días	0,05	3	0,02	0,77	0,54
Altura 80 días	0,01	3	2,90E-03	0,13	0,94
Altura 120 días	0,02	3	1,00E-02	0,67	0,60

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.6 Prueba de homocedasticidad del área foliar

Con respecto a la Tabla 4-6, al realizar la prueba de homocedasticidad para la variable área foliar, se encontró un p – valor mayor a 0,05. Por lo tanto, se concluye que el área foliar cumple con la homocedasticidad en los diferentes momentos de evaluación, desde los 0 días hasta los 120 días.

Tabla 4-6: Prueba de homocedasticidad del área foliar

F.V.	SC	GI	CM	F	p – Valor
# Hojas 0 días	0,19	3	0,06	2,08	0,19
# Hojas 40 días	0,37	3	0,12	2,08	0,19
# Hojas 80 días	0,16	3	0,05	0,84	0,51
# Hojas 120 días	0,86	3	0,29	4,64	0,04

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.7 ANOVA de las variables al inicio de la investigación

4.2.7.1 Análisis de varianza para el DAP al inicio de la investigación

Según se observa en la Tabla 4-7, al realizar el Análisis de Varianza para el diámetro a la altura del pecho al inicio de la investigación, antes de aplicar la fertilización, se obtuvo un p-valor de 0,88 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-7: Análisis de varianza del DAP al inicio de la investigación

F.V.	SC	GI	CM	F	p – Valor
Modelo	0,51	6	0,08	1,07	0,46
Bloque	0,45	3	0,15	1,92	0,22
Tratamientos	0,05	3	0,02	0,22	0,88
Error	0,55	7	0,08		
Total	1,06	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.7.2 Prueba de Friedman del diámetro a la altura del pecho al inicio de la investigación

Según lo indicado en la Tabla 4-8, al aplicar la prueba de Friedman al diámetro a la altura del pecho al inicio de la investigación, antes de realizar la fertilización, no se encontró una diferencia significativa con un p – valor de 0,05. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 2,83 cm en el testigo (T4) y la más baja fue de 2,42 cm en la dosis media (T2).

Tabla 4 8: Prueba de Friedman del diámetro a la altura del pecho

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T2	2	2,42	4
T3	5	2,57	4
T1	5	2,59	4
T4	8	2,83	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-4.

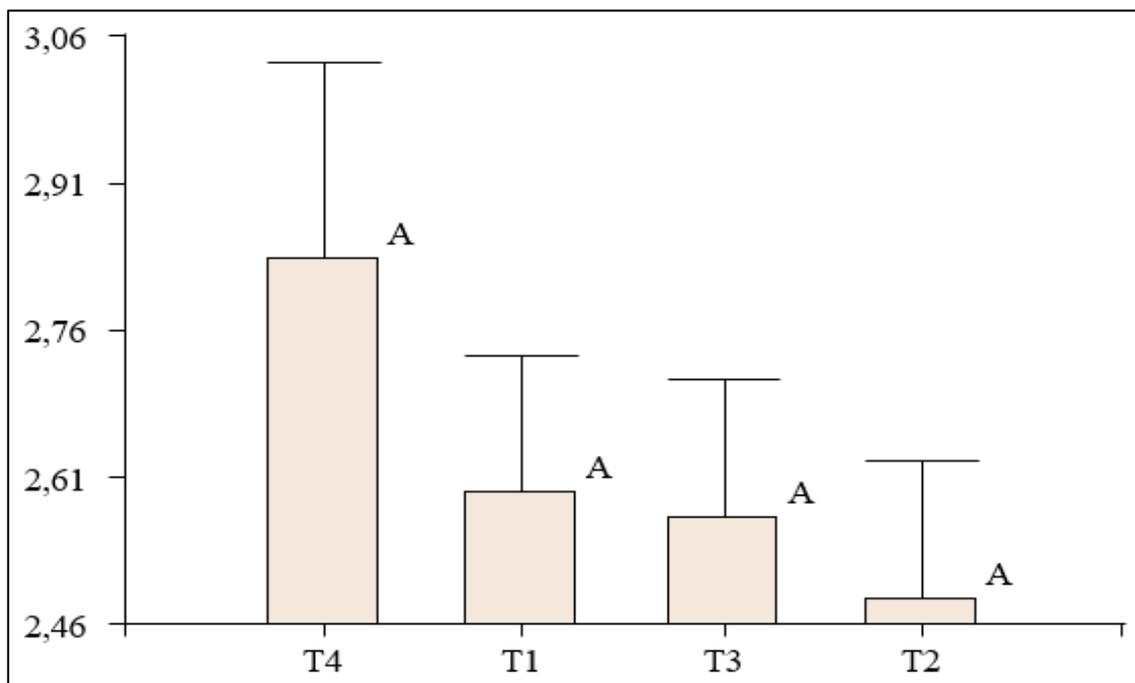


Ilustración 4-4: Diámetro a la altura del pecho al inicio de la investigación

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.7.3 Análisis de varianza de la altura al inicio de la investigación

De acuerdo con la Tabla 4-9, el Análisis de Varianza antes de fertilizar, se determinó un p-valor de 0,91 para los tratamientos porque lo que se interpreta que no existe diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 4-9: Análisis de varianza de la altura antes de fertilizar

F.V.	SC	gl	CM	F	p – Valor
Modelo	0,16	6	0,03	0,61	0,72
Bloque	0,14	3	0,05	1,06	0,43
Tratamientos	0,02	3	0,01	0,17	0,91
Error	0,31	7	0,04		
Total	0,47	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.7.4 Prueba de Friedman de la altura al inicio de la investigación

Según lo indicado en la Tabla 4-10, al aplicar la prueba de Friedman en la altura al inicio de la investigación, antes de realizar la fertilización, no se encontró una diferencia significativa con un p-valor de 0,50. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 2,82 m en el testigo (T4) y la más baja fue de 2,65 m en la dosis media (T2).

Tabla 4-10: Prueba de Friedman de la altura al inicio de la investigación

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T2	3	2,65	4
T3	4	2,71	4
T1	6	2,68	4
T4	7	2,82	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se observa la siguiente ilustración 4-5.

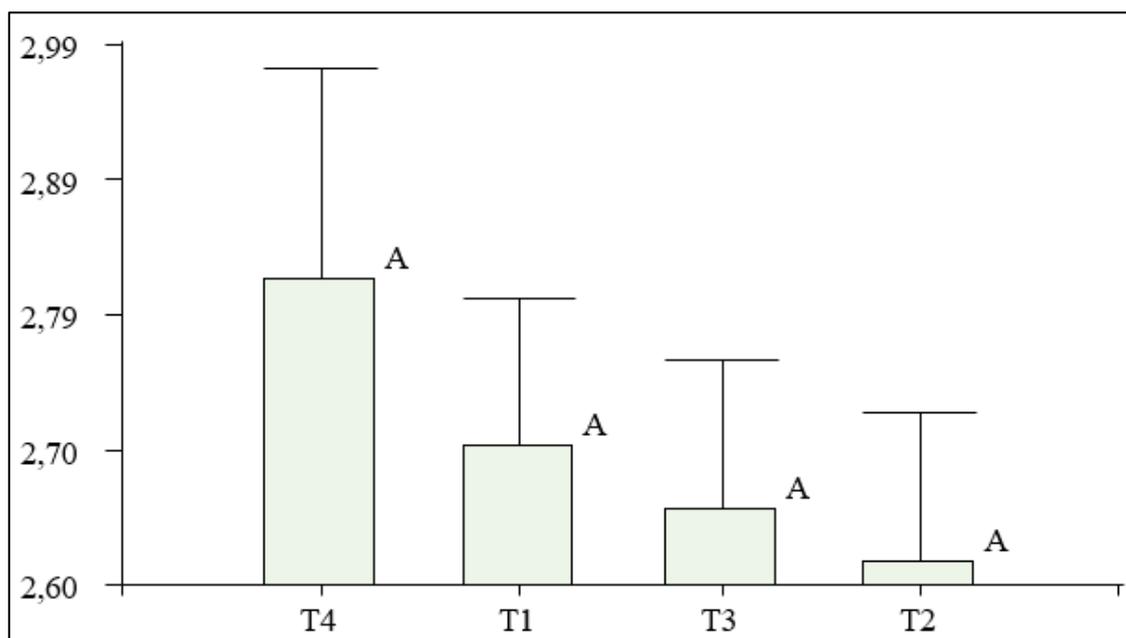


Ilustración 4-5: Altura al inicio de la investigación

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.7.5 Análisis de varianza del área foliar al inicio de la investigación

Según se observa en la Tabla 4-11, al realizar el Análisis de Varianza para el área foliar antes de aplicar el fertilizante, se obtuvo un p-valor de 0,51 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-11: Análisis de varianza del área foliar al inicio de la investigación

F.V.	SC	gl	CM	F	p - Valor
Modelo	0,87	6	0,15	0,55	0,76
Bloque	0,18	3	0,06	0,23	0,87
Tratamientos	0,69	3	0,23	0,86	0,51
Error	1,87	7	0,27		
Total	2,74	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.7.6 Prueba de Friedman del área foliar al inicio de la investigación

Según lo indicado en la Tabla 4-12, al aplicar la prueba de Friedman en el área foliar al inicio de la investigación, antes de realizar la fertilización, no se encontró una diferencia significativa con un p-valor de 0,37. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 12,57 en el testigo (T4) y la más baja fue de 11,88 en la dosis baja (T1).

Tabla 4-12: Prueba de Friedman del área foliar al inicio de la investigación

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T1	2	11,88	4
T4	6	12,57	2
T3	6	12,6	4
T2	6	12,32	4

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-6.

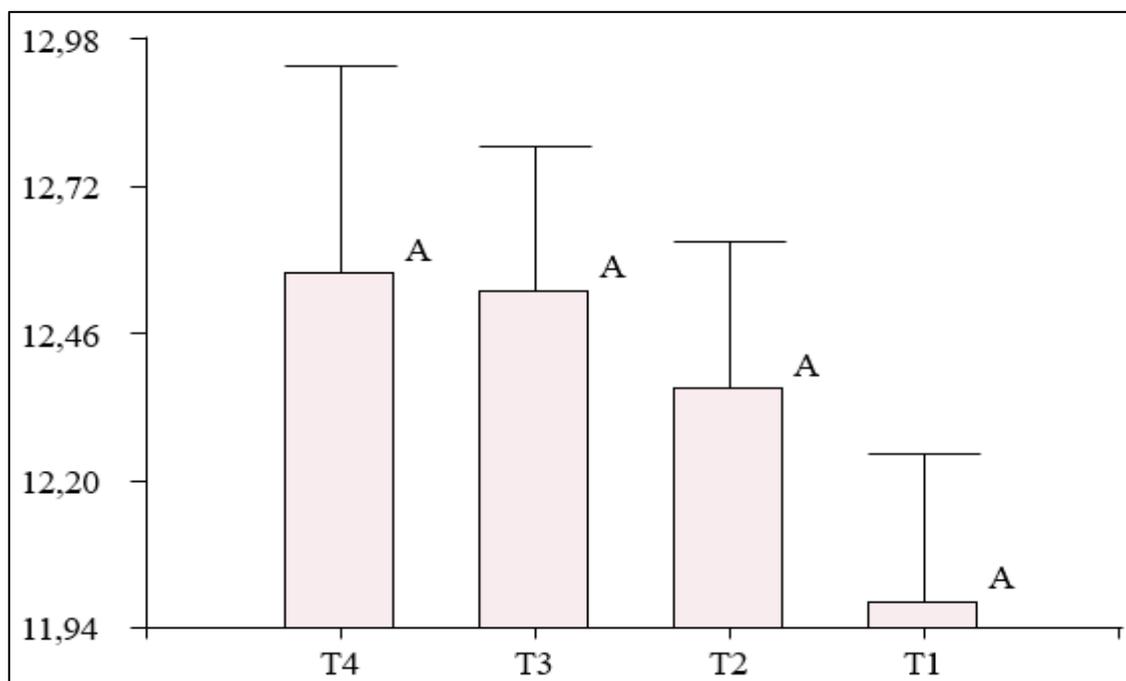


Ilustración 4-6: Área foliar al inicio de la investigación

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.8 ANOVA de las variables a los 40 días

4.2.8.1 Análisis de varianza para el DAP a los 40 días

Según se observa en la Tabla 4-13, al realizar el Análisis de Varianza para el diámetro a la altura del pecho a los 40 días después de aplicar la fertilización, se obtuvo un p-valor de 0,28 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-13: Análisis de varianza del DAP a los 40 días

F.V.	SC	GI	CM	F	p – Valor
Modelo	1,04	6	0,17	1,38	0,34
Bloque	0,44	3	0,15	1,18	0,38
Tratamientos	0,59	3	0,20	1,57	0,28
Error	0,88	7	0,13		
Total	1,92	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.8.2 Prueba de Friedman del DAP a los 40 días

Según lo indicado en la Tabla 4-14, al aplicar la prueba de Friedman al diámetro a la altura del pecho a los 40 días después de aplicar el fertilizante, no se encontró una diferencia significativa con un p – valor de 0,25. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 5,28 cm en la dosis alta (T3) y la más baja fue de 0,03 cm en el testigo (T4).

Tabla 4-14: Prueba de Friedman del DAP a los 40 días

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T2	2	4,98	4
T3	5	5,28	4
T1	6	5,22	4
T4	7	5,77	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-7.

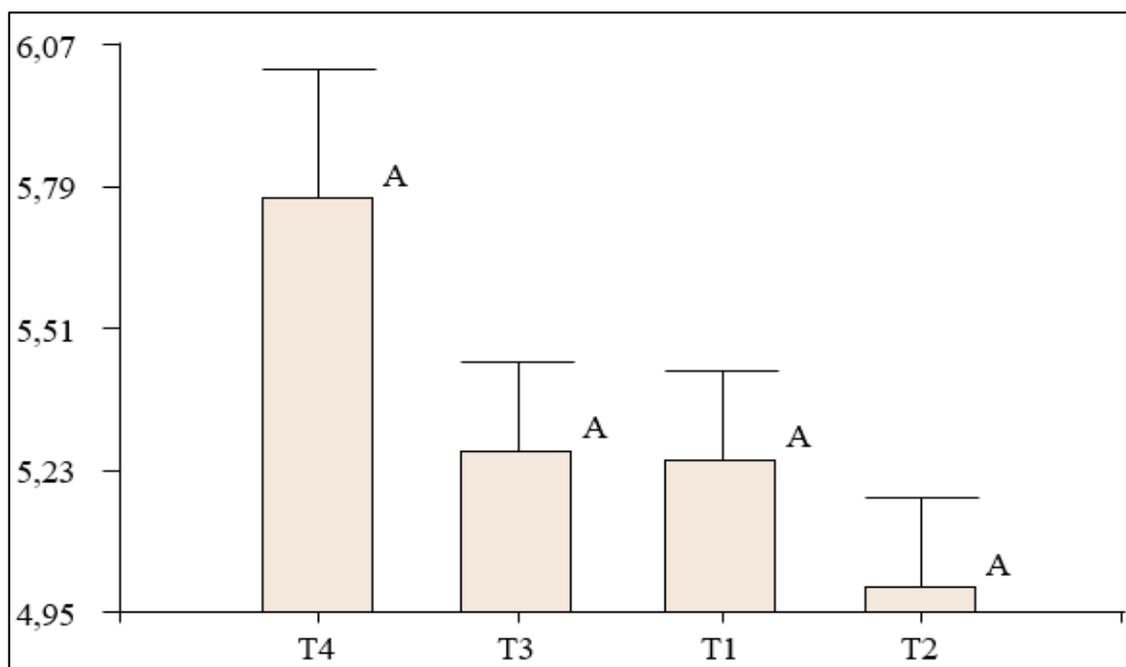


Ilustración 4-7: Diámetro a la altura del pecho a los 40 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.8.3 Análisis de varianza para la altura a los 40 días

Según se observa en la Tabla 4-15, al realizar el Análisis de Varianza para el diámetro a la altura del pecho a los 40 días después de aplicar la fertilización, se obtuvo un p-valor de 0,88 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-15: Análisis de varianza de la altura a los 40 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p – Valor
Modelo	0,38	6	0,06	0,66	0,69
Bloque	0,32	3	0,11	1,11	0,41
Tratamientos	0,06	3	0,02	0,21	0,88
Error	0,67	7	0,1		
Total	1,05	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.8.4 Prueba de Friedman de la altura a los 40 días

Según lo indicado en la Tabla 4-16, al aplicar la prueba de Friedman de la altura a los 40 días de aplicar el fertilizante, no se encontró una diferencia significativa con un p – valor de 0,50. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 4,34 m en el testigo (T4) y la más baja fue de 4,10 m en la dosis media (T2).

Tabla 4-16: Prueba de Friedman de la altura a los 40 días

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	N
T2	3	4,10	4
T3	4	4,13	4
T1	6	4,12	4
T4	7	4,34	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-8.

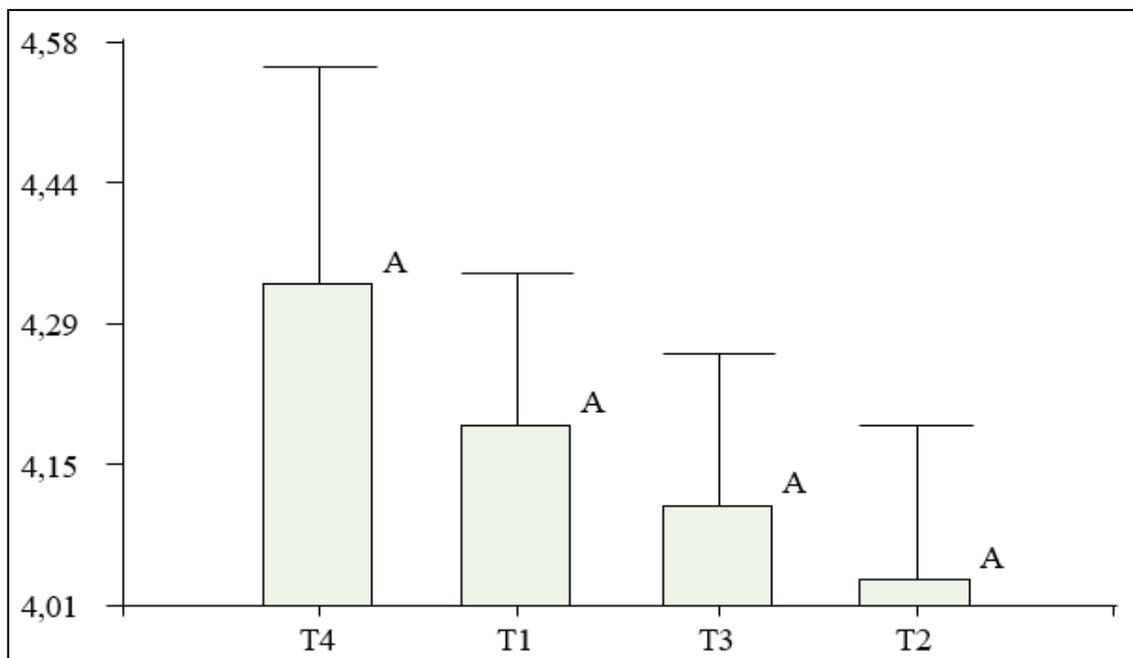


Ilustración 4-8: Altura a los 40 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.8.5 Análisis de varianza para el área foliar a los 40 días

Según se observa en la Tabla 4-17, al realizar el Análisis de Varianza para el área foliar a los 40 días después de aplicar la fertilización, se obtuvo un p – valor de 0,47 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-17: Análisis de varianza del área foliar a los 40 días

F.V.	SC	GI	CM	F	p - Valor
Modelo	7,36	6	1,23	2,02	0,19
Bloque	5,64	3	1,88	3,09	0,10
Tratamientos	1,72	3	0,57	0,94	0,47
Error	4,26	7	0,61		
Total	11,63	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.8.6 Prueba de Friedman del área foliar a los 40 días

Según lo indicado en la Tabla 4-18, al aplicar la prueba de Friedman del área foliar a los 40 días de aplicar el fertilizante, no se encontró una diferencia significativa con un p-valor de 0,50. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 18,97 en el testigo (T4) y la más baja fue de 17,19 en la dosis alta (T3).

Tabla 4-18: Prueba de Friedman del área foliar a los 40 días

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T2	3	17,19	4
T3	4	17,47	4
T1	6	17,69	4
T4	7	18,97	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-9.

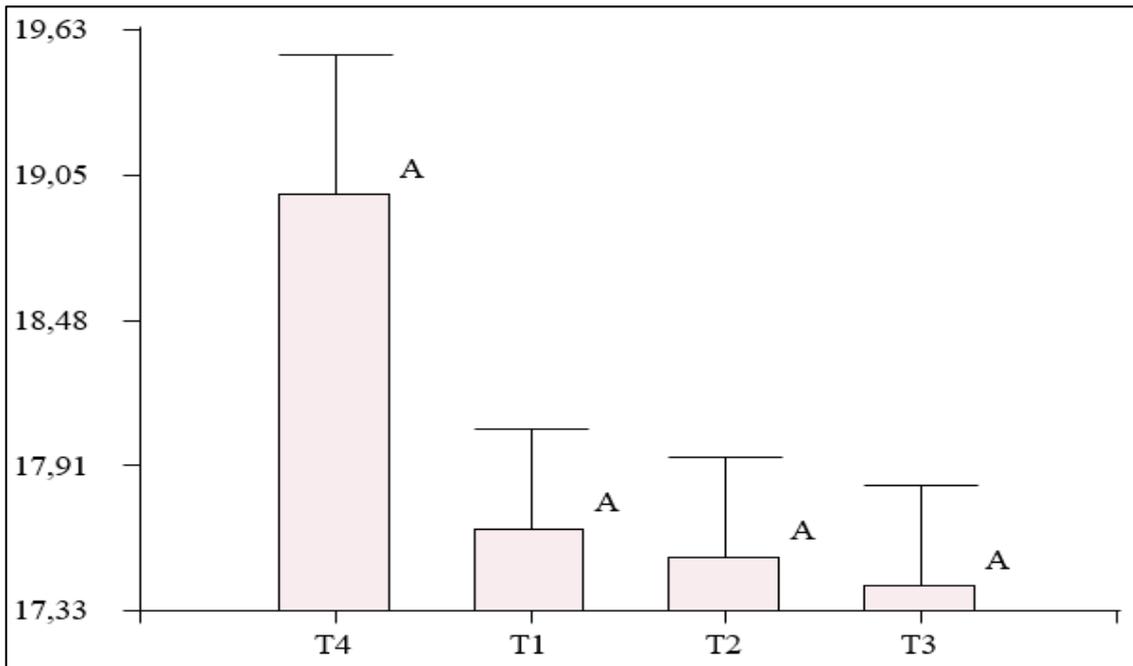


Ilustración 4-9: Área foliar a los 40 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.9 ANOVA de las variables a los 80 días

4.2.9.1 Análisis de varianza para el DAP a los 80 días

Según se observa en la Tabla 4-19, al realizar el Análisis de Varianza para el diámetro a la altura del pecho a los 80 días después de aplicar la fertilización, se obtuvo un p – valor de 0,40 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-19: Análisis de varianza del DAP a los 80 días

F.V.	SC	GI	CM	F	p - Valor
Modelo	1,24	6	0,21	1,22	0,39
Bloque	0,67	3	0,22	1,32	0,34
Tratamientos	0,57	3	0,19	1,13	0,40
Error	1,18	7	0,17		
Total	2,43	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.9.2 Prueba de Friedman del DAP a los 80 días

Según lo indicado en la Tabla 4-20, al aplicar la prueba de Friedman al diámetro a la altura del pecho a los 80 días después de aplicar el fertilizante, no se encontró una diferencia significativa con un p-valor de 0,05. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 7,52 cm en el testigo (T4) y la más baja fue de 6,67 cm en la dosis media (T2).

Tabla 4-20: Prueba de Friedman del diámetro a la altura del pecho a los 80 días

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T2	2	6,67	4
T3	5	7,04	4
T1	5	6,99	4
T4	8	7,52	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-10.

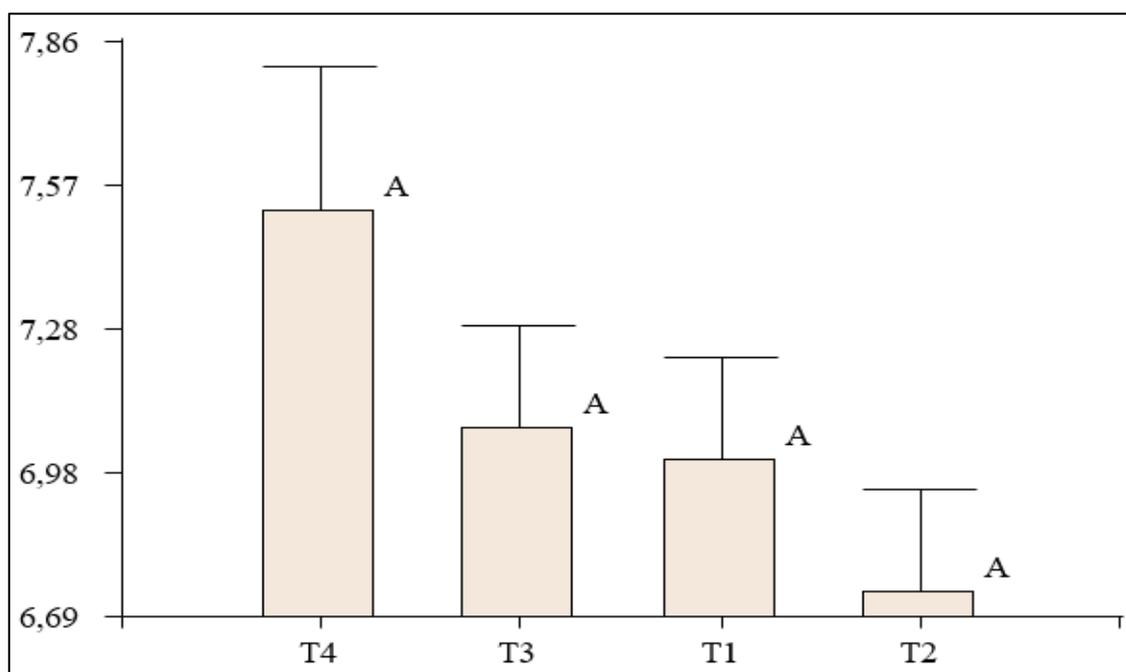


Ilustración 4-10: Diámetro a la altura del pecho a los 80 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.9.3 Análisis de varianza para la altura a los 80 días

Según se observa en la Tabla 4-21, al realizar el Análisis de Varianza para la altura a los 80 días después de aplicar la fertilización, se obtuvo un p – valor de 0,93 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-21: Análisis de varianza de la altura a los 80 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p – Valor
Modelo	0,28	6	0,05	0,51	0,79
Bloque	0,24	3	0,08	0,86	0,50
Tratamientos	0,04	3	0,01	0,15	0,93
Error	0,65	7	0,09		
Total	0,94	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.9.4 Prueba de Friedman de la altura a los 80 días

Según lo indicado en la Tabla 4-22, al aplicar la prueba de Friedman de la altura a los 80 días después de aplicar el fertilizante, no se encontró una diferencia significativa con un p-valor de 0,50. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 5,03 m en el testigo (T4) y la más baja fue de 4,92 m en la dosis media (T2).

Tabla 4-22: Prueba de Friedman de la altura a los 80 días

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T2	3	4,92	4
T3	4	4,98	4
T1	6	4,99	4
T4	7	5,03	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-11.

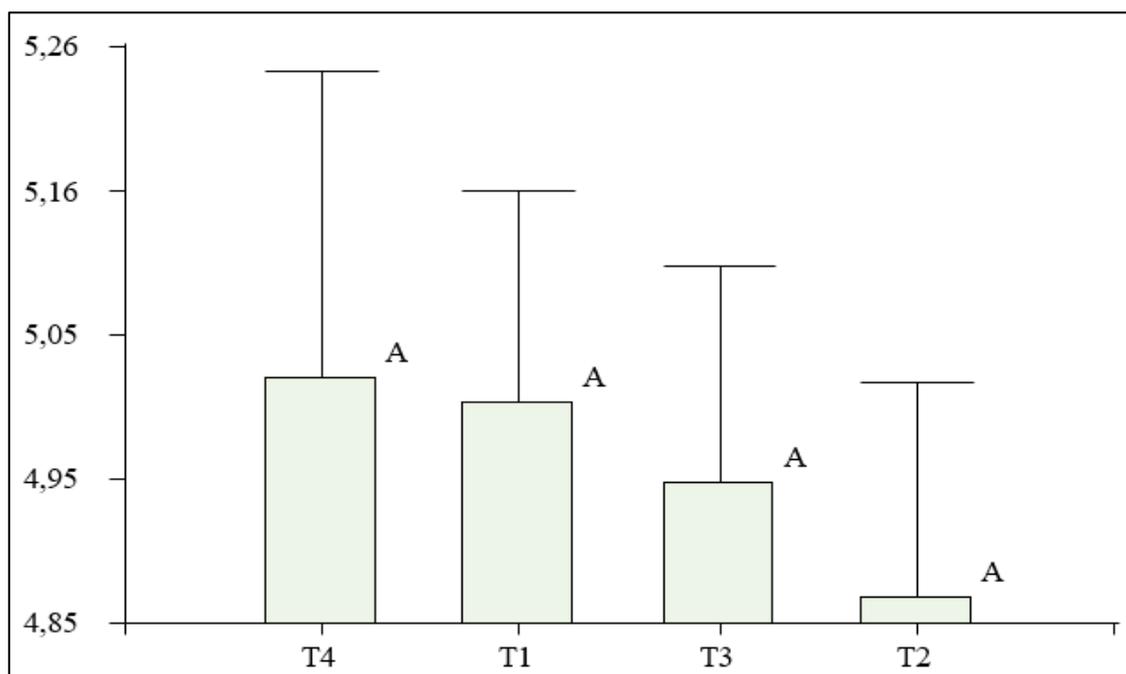


Ilustración 4-11: Altura a los 80 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.9.5 Análisis de varianza para el área foliar a los 80 días

Según se observa en la Tabla 4-23, al realizar el Análisis de Varianza para el área foliar a los 80 días después de aplicar la fertilización, se obtuvo un p-valor de 0,66 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-23: Análisis de varianza del área foliar a los 80 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p – Valor
Modelo	5,06	6	0,84	1,54	0,29
Bloque	4,15	3	1,38	2,53	0,14
Tratamientos	0,91	3	0,3	0,56	0,66
Error	3,82	7	0,55		
Total	8,88	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.9.6 Prueba de Friedman del área foliar a los 80 días

Según lo indicado en la Tabla 4-24, al aplicar la prueba de Friedman del área foliar a los 80 días después de aplicar el fertilizante, no se encontró una diferencia significativa con un p – valor de 0,13. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 21,81 en el testigo (T4) y la más baja fue de 20,88 en la dosis alta (T3).

Tabla 4-24: Prueba de Friedman del área foliar a los 80 días

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T2	3,0	20,94	4
T3	3,5	20,88	4
T1	5,5	21,09	4
T4	8,0	21,81	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-12.

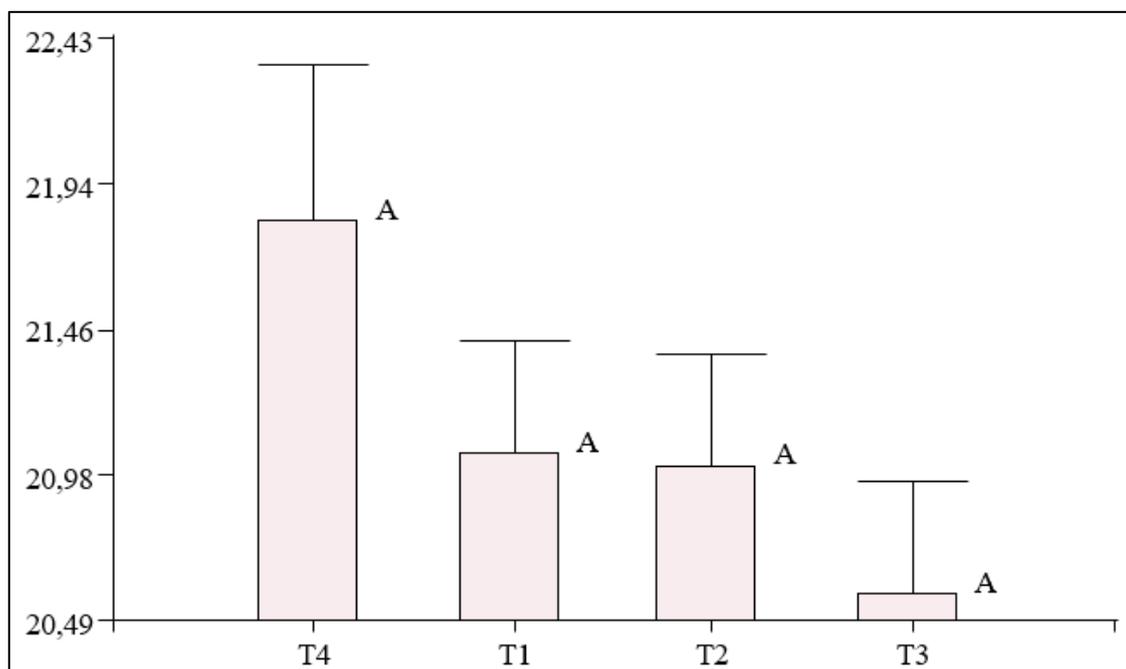


Ilustración 4-12: Área foliar a los 80 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.10 ANOVA de las variables a los 120 días

4.2.10.1 Análisis de varianza para el DAP a los 120 días

Según se observa en la Tabla 4-25, al realizar el Análisis de Varianza para el diámetro a la altura del pecho a los 120 días después de aplicar la fertilización, se obtuvo un p – valor de 0,24 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-25: Análisis de varianza del DAP a los 120 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p – Valor
Modelo	3,36	6	0,56	2,77	0,10
Bloque	2,27	3	0,76	3,75	0,07
Tratamientos	1,09	3	0,36	1,80	0,24
Error	1,42	7	0,20		
Total	4,78	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.10.2 Prueba de Friedman del DAP a los 120 días

Según lo indicado en la Tabla 4-26, al aplicar la prueba de Friedman al diámetro a la altura del pecho a los 120 días después de aplicar el fertilizante, no se encontró una diferencia significativa con un p – valor de 0,05. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 9,36 cm en el testigo (T4) y la más baja fue de 8,24 cm en la dosis media (T2).

Tabla 4-26: Prueba de Friedman del DAP a los 120 días

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T2	2	8,24	4
T1	4	8,66	4
T4	7	9,36	4
T3	7	8,95	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-13.

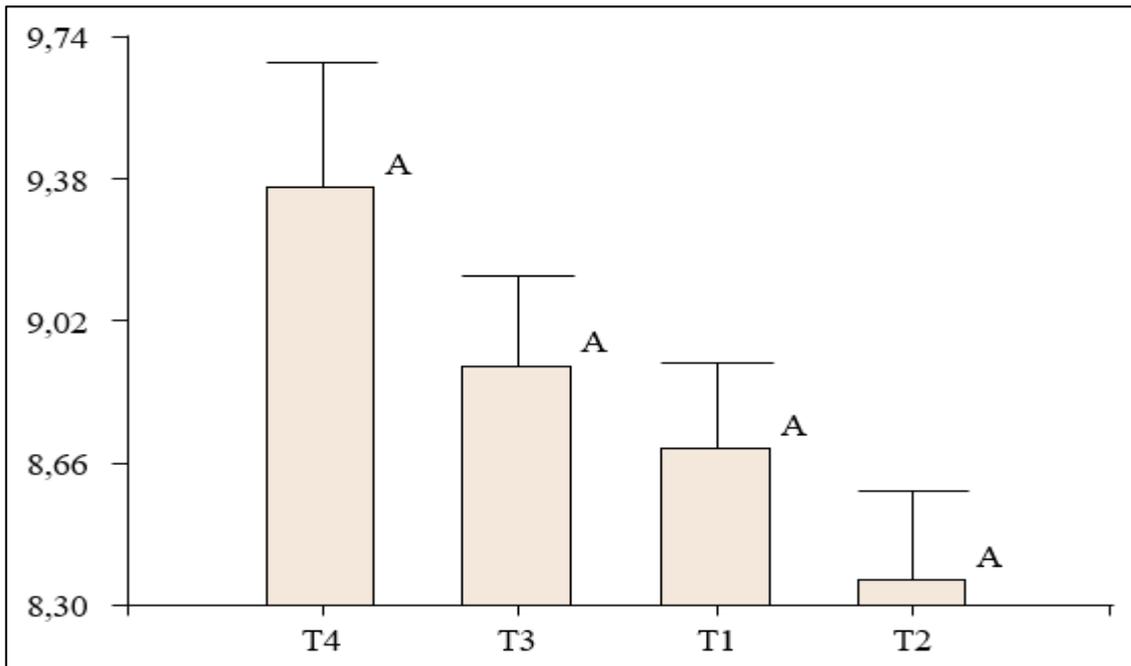


Ilustración 4-13: Diámetro a la altura del pecho a los 120 día

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

En el análisis llevado a cabo en la finca, se observaron diferencias numéricas en el grupo de control, que presentó un diámetro de 9,35 cm a los 120 días, comparado con los resultados obtenidos difieren de las conclusiones presentadas en la investigación llevada a cabo por Mora y Valarezo (2018, pp. 49-58), donde se destacaron diferencias estadísticas altamente significativas. Sin embargo, es importante destacar que estas diferencias en el crecimiento se manifestaron de manera más pronunciada a lo largo de un periodo de 2 años después de la plantación, en comparación con el periodo de 120 días de este estudio. Esto sugiere que a medida que el tiempo avanza, es probable que se obtengan mejoras más notables en los resultados de crecimiento de los árboles en cuestión.

En lo que respecta a las distintas dosis aplicadas, se evidenciaron mejores resultados al utilizar una dosificación elevada de 277,7 g por árbol, compuesta por 238,7 g de 10-30-10, 23 g de muriato de potasio y 16,1 g de urea. En esta composición se obtuvo un diámetro de 8,91 cm. Esto contrasta con la investigación realizada por González et al. (2016, pp. 31-33) en el Pacífico Sur de Costa Rica, donde se examinó el diámetro. En dicho estudio, la aplicación de un tratamiento con 100 g árb-1 de fertilizante (50 g al momento de la siembra y el resto seis meses después durante la época lluviosa) resultó en un diámetro mayor de 12,8 cm. Esta cifra supera la observada en el

estudio de la plantación llevada a cabo por ARBORIENTE, presentando una diferencia de 3,45 cm.

4.2.10.3 Análisis de varianza para la altura a los 120 días

Basándonos en la información presentada en la Tabla 4-27, al realizar el Análisis de Varianza para la altura después de 120 días desde la fertilización, se obtuvo un p – valor de 0,01 en relación con los tratamientos. Esto indica que se identifican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

Tabla 4-27: Análisis de varianza de la altura a los 120 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p – Valor
Modelo	2,17	6	0,36	4,59	0,03
Bloque	0,34	3	0,11	1,45	0,31
Tratamientos	1,82	3	0,61	7,72	0,01
Error	0,55	7	0,08		
Total	2,72	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.10.4 Prueba de Tukey

Según lo indicado en la Tabla 4-28, la prueba de Tukey aplicada a la altura después de 120 días de la fertilización reveló dos intervalos significativos. En el intervalo A, el valor de la media más alto fue de 7,20 m correspondiente a la dosis baja (T1), seguido por el testigo (T4) con una media de 6,59 m en los intervalos A - B. Por otro lado, en el intervalo B, la dosis media (T2) presentó el valor de la media más bajo de 6,37 m.

Tabla 4-28: Prueba de Tukey de la altura a los 120 días

Tratamientos	Medias	n	E.E	
T1	7,20	4	0,14	A
T4	6,59	2	0,20	A B
T3	6,43	4	0,14	B
T2	6,37	4	0,14	B

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-14.

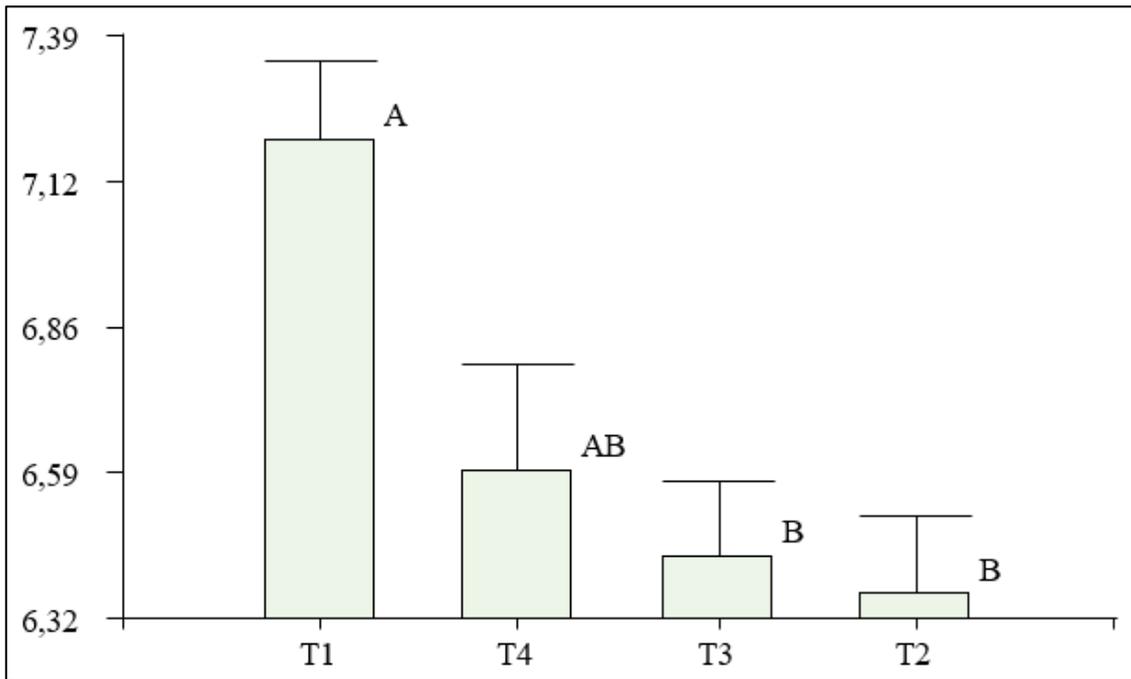


Ilustración 4-14: Altura a los 120 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

En el presente estudio se ha determinado que la altura promedio de *Gmelina arborea* Roxb., tras un lapso de 120 días de haber realizado la fertilización por parte de la empresa ARBORIENTE S.A. en la finca “El Huino” en la provincia de Orellana, es de 7,20 m. En contraste, González et al. (2016, pp. 31-33), en su estudio llevado a cabo en la región del Pacífico Sur de Costa Rica, en la finca Puntarenas, reportaron una altura promedio de 4,87 m a los 11 meses de edad de las plantas. Es importante señalar que en el estudio se emplearon 64 g arb⁻¹ de la fórmula de fertilizante 19-4-19-3-0,1-1,8-0,1 durante la siembra, y posteriormente se aplicaron 50 g arb⁻¹ de urea a los seis meses desde el establecimiento de la plantación.

Resulta notorio que la altura obtenida por ARBORIENTE de 7,20 m en 120 días de fertilización supera la altura de 4,87 m reportada en el estudio anterior. Esta diferencia podría atribuirse a la utilización de una dosis total de 166,6 g de un fertilizante compuesto por 10-30-10, urea y muriato de potasio, aplicada por tres ocasiones cada 40 días en el transcurso de la plantación.

En el estudio realizado por Barrios et al. (2011, pp. 31-40), se logró alcanzar una altura de 5,48 metros por año mediante la aplicación de una dosis elevada de fertilización. Esta dosis incluyó 60 g árb^{-1} de nitrógeno (N), 30 g árb^{-1} de pentóxido de fósforo (P_2O_5), 120 g árb^{-1} de óxido de potasio (K_2O) y 68 g árb^{-1} de magnesio (Mg), en suelos que presentaban deficiencia de nitrógeno, potasio y magnesio en los primeros 30 cm de profundidad. Además, se realizaron dos limpiezas químicas al año para optimizar el crecimiento. Esta cifra se comparó con la dosis alta de fertilización que consistió en una combinación de fertilizantes de 238,7 g árb^{-1} de 10-30-10, 23 g árb^{-1} de muriato de potasio y 16,1 g árb^{-1} de urea. Mediante esta combinación, se obtuvo una altura de 6,43 metros en un período de 120 días. Esta medida resulta ser 95 cm mayor que el resultado obtenido en el estudio previo llevado a cabo por Barrios. Cabe destacar que estas diferencias significativas en el crecimiento pueden ser atribuidas a la variación en las dosis de fertilización y a la combinación específica de nutrientes utilizados en cada tratamiento.

Siguiendo las conclusiones de Paillacho (2010, pp. 21-84), se constató que *Gmelina arborea* alcanzó su máxima altura al aplicar 108 g de muriato de potasio por planta, logrando una altura de 8,12 m a los 14 meses de edad. Además, evidenció un ritmo de crecimiento vertical de 0,58 m. Al comparar estos resultados con los datos recopilados en este estudio, donde se tomaron medidas a los 120 días, se respalda la afirmación de Betancourt (1987, p. 435) sobre el rápido crecimiento de la especie.

4.2.10.5 Análisis de varianza para el área foliar a los 120 días

Según se observa en la Tabla 4-29, al realizar el Análisis de Varianza para el área foliar a los 120 días después de aplicar la fertilización, se obtuvo un p – valor de 0,75 para los diferentes tratamientos. Esto lleva a la interpretación de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos.

Tabla 4-29: Análisis de varianza del área foliar a los 120 días

F.V.	SC	GI	CM	F	p - Valor
Modelo	8,3	6	1,38	1,5	0,30
Bloque	7,16	3	2,39	2,59	0,14
Tratamientos	1,14	3	0,38	0,41	0,75
Error	6,44	7	0,92		
Total	14,74	13			

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

4.2.10.6 Prueba de Friedman del área foliar a los 120 días

Según lo indicado en la Tabla 4-30, al aplicar la prueba de Friedman del área foliar a los 120 días después de aplicar el fertilizante, no se encontró una diferencia significativa con un p – valor de 0,05. Sin embargo, se observó una diferencia numérica entre los valores, donde la mediana más alta fue de 28,31 en el testigo (T4) y la más baja fue de 26,72 en la dosis media (T2).

Tabla 4 30: Prueba de Friedman del área foliar a los 120 días

Tratamiento	Suma (Ranks)	Mediana	n
T3	3	26,94	4
T2	3	26,72	4
T1	6	26,78	4
T4	8	28,31	2

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-15.

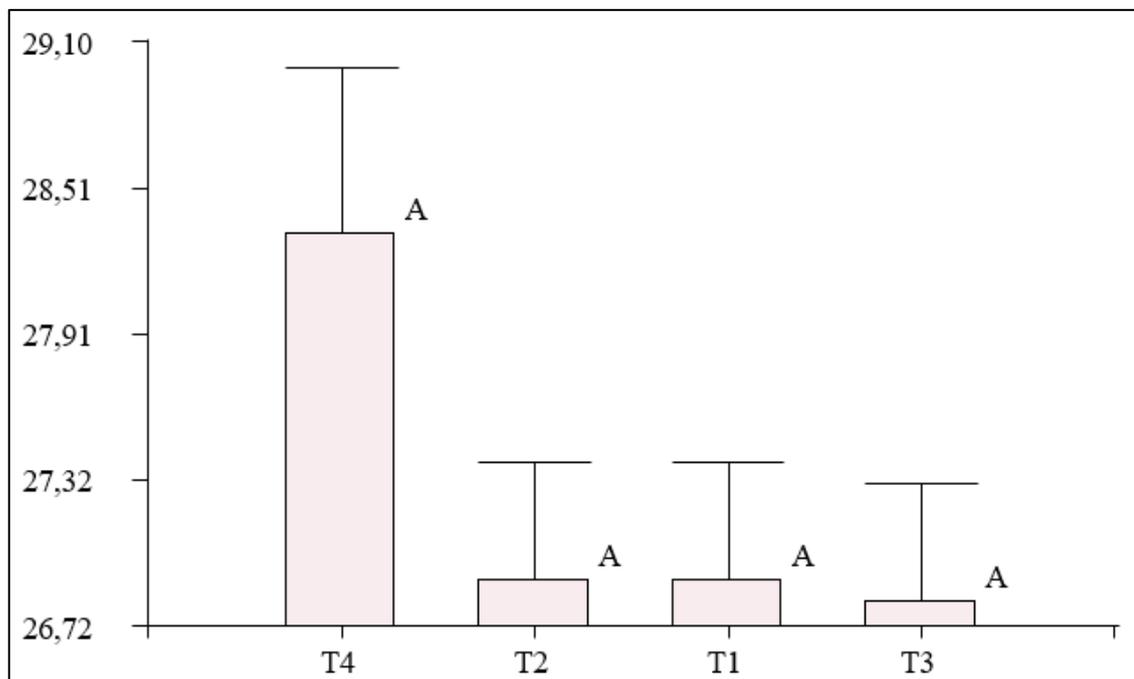


Ilustración 4-15: Área foliar a los 120 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

En el contexto de su investigación en suelos Entisoles de Colombia, Cadena y Gauque (2009, pp. 18-23), identificaron que la combinación óptima de fertilizantes para lograr un mayor desarrollo del área basal a los 2 años de edad fue compuesta por 300 g árb-1 de urea, 50 g árb-1 de pentóxido de fósforo (P₂O₅) y 160 g árb-1 de óxido de potasio (K₂O). Esta combinación demostró su eficacia al generar un área basal más amplia en comparación con los resultados observados en la finca "El Huino", la cual se caracteriza por ser un Bosque siempreverde y obtuvo el mejor desempeño sin la adición de fertilización. Por otro lado, en el caso de las dosis de fertilización en niveles bajos de 166,6 g árb-1 (143,2 g de 10-30-10, 13,8 g de muriato de potasio y 9,6 g de urea) y medios de 222,1 g árb-1 (190,9 g de 10-30-10, 18,4 g de muriato de potasio y 12,8 g de urea), se registró el rendimiento óptimo a los 120 días de cultivo.

En resumen, se puede observar en la Tabla 4-31 las diferencias numéricas desde los 40 días después de haber realizado la primera fertilización. Luego se registraron los datos correspondientes a la segunda fertilización a los 80 días y finalmente se recolectaron los datos posteriores a la tercera fertilización a los 120 días. Cabe destacar que estas fertilizaciones se llevaron a cabo con un intervalo de 40 días entre cada una.

Tabla 4-31: Resumen de las variables cuantitativas

	Días evaluados	40 días	80 días	120 días
DAP (cm)	Tratamientos			
	T1	5,25	7,01	8,69
	T2	5,00	6,74	8,37
	T3	5,27	7,08	8,91
	T4	5,80	7,52	9,36
Altura total (m)	T1	4,19	5,01	7,20
	T2	4,04	4,87	6,37
	T3	4,12	4,95	6,43
	T4	4,34	5,02	6,59
Área foliar	T1	17,66	21,05	26,91
	T2	17,55	21,00	26,91
	T3	17,44	20,58	26,83
	T4	18,97	21,81	28,31

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

Para una mejor interpretación se muestra la siguiente ilustración 4-16.

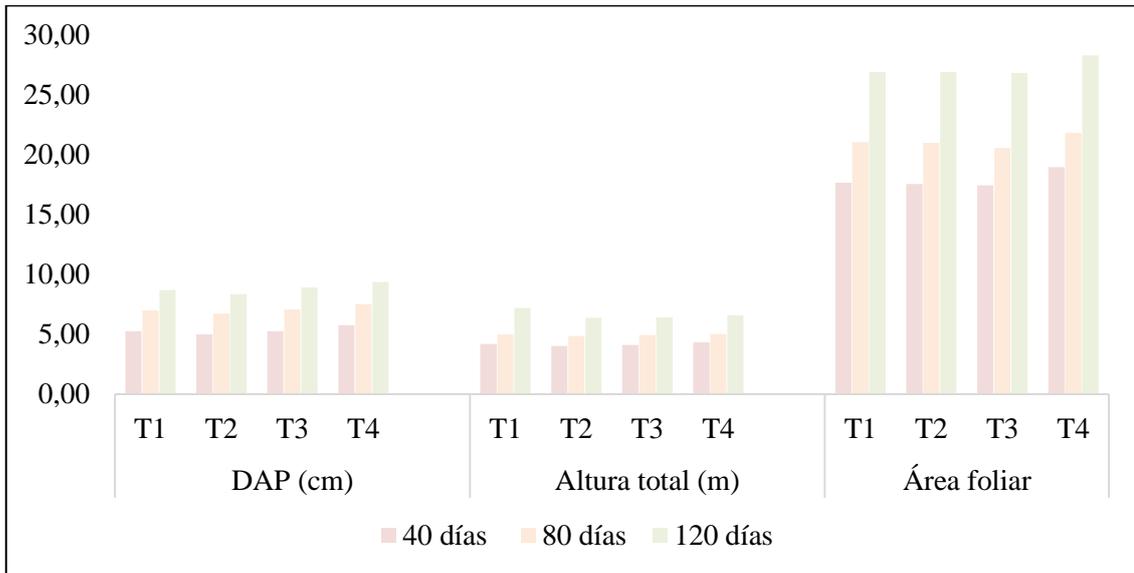


Ilustración 4-16: Resumen de las variables DAP, altura y el área foliar a los 40, 80 y 120 días

Realizado por: Chuqui, María, 2023.

En lo que concierne al transcurso del tiempo, no se identificaron diferencias estadísticamente significativas en las mediciones del diámetro a la altura del pecho y el área foliar. Sin embargo, en lo que respecta a la variable de altura, se observaron diferencias estadísticas significativas tras la aplicación de los fertilizantes durante el período de 120 días. En contraste, en el estado de Michoacán, México, se ha observado un aumento sustancial en el diámetro y el área foliar de las especies de Melina en un rango temporal de uno a dos años. Es importante destacar que este incremento en el crecimiento se atribuye tanto al aporte de cal para neutralizar el aluminio soluble en el suelo como al suministro de un grupo de nutrientes a través de la aplicación de fertilizantes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y zinc) para suplir las deficiencias nutricionales.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Basándonos en los resultados obtenidos, se confirma la hipótesis alternativa, ya que al menos una de las dosis de fertilización aplicadas en la plantación de *Gmelina arborea* Roxb. exhibió diferencias significativas en su crecimiento inicial. Por otro lado, en lo que respecta a las variables de diámetro a la altura del pecho y área foliar, aunque estadísticamente no se detectaron diferencias significativas debido al limitado tiempo de evaluación, es importante destacar que a nivel numérico sí se observaron disparidades.

El tratamiento más efectivo para la especie en este sitio consistió en la aplicación de 166,6 g por árbol de la mezcla de fertilizantes 10 – 30 – 10, urea y muriato de potasio. Esta aplicación se llevó a cabo a los 4 meses de haberse establecido la plantación y se repitió en intervalos de 40 días en dos ocasiones, con la que se obtuvo un efecto estadísticamente significativo en la altura de 7,20 m después de 120 días desde la fertilización. Esto representó un incremento de 61 cm en comparación con el testigo, que presentó una altura de 6,59 m. Por lo tanto, se determinó que esta estrategia de fertilización fue la más exitosa en términos de estimular el crecimiento.

No obstante, es importante resaltar que se observó una disminución en la altura al aplicar el tratamiento con la dosis intermedia. En este caso, se administró una cantidad de 222,1 g de la combinación de fertilizantes, lo que resultó en una altura final de 6,36 m. Esta variación llevó a una reducción de 84 cm en comparación con los resultados obtenidos con relación al tratamiento de dosis baja, indicando que la especie no muestra una respuesta favorable a esta específica cantidad de fertilización.

Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el aumento del diámetro a la altura del pecho y el área foliar después de 120 días de aplicar la fertilización, es relevante destacar que se observaron notables variaciones numéricas entre las variables del testigo en comparación con los enfoques de dosificación media y alta, que involucraron la administración de 222,1 g y 277,7 g de fertilizante por árbol en tres ocasiones. En cuanto al diámetro a la altura del pecho, se identificó una disminución de 99 cm en la dosificación media en comparación con el grupo de control, que presentó un diámetro de 9,35 cm. Por otro lado, con relación al área foliar,

se registró una reducción de 1,49 hojas en la dosificación alta en comparación con el grupo de control, que mantuvo un promedio de 28,31 hojas en el área foliar, estos resultados sugieren que no se requiere la fertilización en la plantación de *Gmelina arborea* Roxb.

5.2 Recomendaciones

En las plantaciones de melina (*Gmelina arborea*) se recomienda fertilizar con la dosificación baja de 166,6 gramos por árbol de 10 – 30 – 10, urea y muriato de potasio ya que demostró ser efectiva la variable altura a los 120 días de haber realizado la fertilización.

Socializar y publicar este trabajo de integración curricular ya que hay escasa información con las empresas que se dedican a la importación y exportación de la madera.

Es recomendable mantener la investigación en curso y llevar a cabo una evaluación de forma anual. Diversos estudios indican que esta periodicidad conduce a la obtención de resultados más favorables.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, M. *Medición del diámetro (DAP) de un árbol* [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2018, p. 5. [Consulta: 8 julio 2023]. Disponible en: https://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/ppt_medici%C3%B3n_del_di%C3%A1metro_de_un_%C3%A1rbol.pdf.

ALBÁN, M. Diversidad de especies arvenses en plantaciones de *Tectona grandis* L. f. (teca) de 2 a 8 años de edad en la época seca de los cantones Balzar y Pichincha, año 2018 [en línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Ambientales, Carrera Ingeniería Forestal. Quevedo-Los Ríos. 2018, p. 77. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cbaf4513-e691-43fb-b033-88de03fc71ee/content>

ALBAUGH, T., et al. “Radiata pine response to tillage, fertilization, and weed control in Chile”. *Revista Bosque* [en línea], 2004, (Chile) 25(2), pp. 5-15. [Consulta: 18 enero 2023]. ISSN 0717-9200. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173113282002>

ALFARO, M. *Melina la madera del futuro* [En línea]. San José-Costa Rica: Revista Forestal Centroamericana, 2000. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9861/Melina_la_madera.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ALVARADO, J.; et al. “Efecto de cinco sustratos en el contenido foliar de nutrientes y crecimiento inicial de tres especies forestales empleadas en Mesoamérica”. *Revista forestal KURÚ* [en línea], 2012, (Costa Rica) 5(14), pp. 1-15. [Consulta: 12 abril 2023]. ISSN: 2215-2504. Disponible en: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/422/353>

AMAT, J. *Test de Friedman* [en línea]. Ciencia de datos, 2016, p. 1. [Consulta 10 julio 2023]. Disponible en: https://cienciadedatos.net/documentos/21_friedman_test.

AREVALO, G.; & CASTELLANOS, M. *Manual Fertilizantes y Enmiendas* [en línea]. Honduras: Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central, Carrera de

Ciencia y producción Agropecuaria, Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano, 2011, p. 19. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_6_Manual_Fertilizantes_y_Enmiendas..pdf

ARGUEDAS, M. Problemas fitosanitarios de la melina (*Gmelina arborea* (Roxb)) en Costa Rica. Revista forestal Mesoamericana KURÚ [en línea], 2004, (Costa Rica) 1(2), pp. 75-83. [Consulta: 5 enero 2023]. ISSN: 2215-2504. Disponible en: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/574>

BARRIOS, A., et al. “Efecto del control de malezas y fertilización sobre el crecimiento inicial de *Gmelina arborea* Roxb. en el Departamento del Tolima, Colombia”. Colombia Forestal [en línea], 2011, (Colombia) 14(1), pp. 31-40. [Consulta: 2 agosto 2023]. ISSN: 0120-0739. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v14n1/v14n1a04.pdf>

COOKE, G. *Fertilización para rendimientos máximos*. México: Editorial continental SA, 1975, pp. 33-40

CUESTAS, E. “Definición de variable”. Revista de la Facultad de Ciencias Médicas [en línea], 2009, (Argentina) 66(3), p. 118. [Consulta: 8 julio 2023]. Disponible en: <file:///C:/Users/INTEL%202022/Downloads/vdugatto,+Journal+manager,+revision.pdf>

CHAVARRIA, M.; & VALERO, R. Guía preliminar de parámetros silviculturales para apoyar los proyectos de reforestación en Costa Rica. Minae; Costa Rica. 1993, p. 202.

DOWNS, G. Estudio tecnológico de la madera de *Gmelina arborea* Roxb., proveniente de plantaciones jóvenes del estado de Campeche (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad Autónoma Chapingo. Campeche-México. 2003, pp. 3-7. [Consulta: 15 marzo 2023]. Disponible en: <https://cb7fd3fe56.clvaw-cdnwnd.com/f9dc4c84b4ad996a747a1501a5e2f331/200000771-47619485b9/Downs%20Rocha%20Gregorio%202003.pdf>

ECUADOR FORESTAL. *Planificación estratégica plantaciones forestales en el Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador: Corporación de Promoción de Exportaciones, Agencia Ejecutora del

Programa. 2007, p. 25. [Consulta: 16 abril 2023]. Disponible en: https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2013/03/PE_Plantaciones.pdf

ECUADOR FORESTAL. *Programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales* [en línea]. Quito-Ecuador: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. 2016, pp. 6-48. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-FOLLETO-PIF-2014-050614.pdf>.

FAO. *Ecología y enseñanza rural: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas* [en línea]. Italia-Roma, 1996, pp. 38-43. [Consulta: 5 junio 2023]. ISBN: 92-5-303847-0. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ap440s/ap440s.pdf>

FAO. *Los fertilizantes y su uso* [en línea]. Alabama-USA: Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, 2002, pp. 6-52. [Consulta: 6 junio 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>

FAO. *Inventario Forestal Nacional* [en línea]. Guatemala: Departamento de Montes, 2004, pp. 74-77. [Consulta: 6 junio 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ae578s/ae578s.pdf>

GADPR PUERTO MURIALDO. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Puerto Murialdo* [en línea]. Puerto Murialdo-Ecuador: GADPR Puerto Murialdo, 2015, pp. 2-24. [Consulta: 3 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.loreto.gob.ec/loreto/images/RENDICION/RC-2017/PDyOT-Loreto-aprobado-actualizado-enero-2018.pdf>.

GALLOWAY, G. *Guía sobre la repoblación forestal en la sierra ecuatoriana*. Quito-Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1986, pp. 27-30.

GONZÁLEZ, M., et al. “Crecimiento inicial de *Gmelina arborea* Roxb. aplicando diferentes tratamientos de fertilización en el Pacífico Sur de Costa Rica”. *Revista Forestal Mesoamericana KURÚ* [en línea], 2016, (Costa Rica) 13(33), pp. 29-35. [Consulta: 28 julio 2023]. ISSN: 2215-2504. Disponible en: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2575/2360>

GROS, A. “Guía práctica de la fertilización”. *Mundi-prensa*, (1981), (España) pp. 25-28

GUARNIZO, J & PALACIOS, B. Respuesta inicial de una plantación de *Tectona grandis* L.f a la fertilización con N – P – K y muriato de potasio en los predios de la empresa fideicomiso palmar del rio Cantón Coca Provincia de Orellana (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional de Loja, Área agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Carrera Ingeniería Forestal. Loja-Ecuador. 2008, pp. 21-42. [Consulta: 6 junio 2023]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5888/1/RESPUESTA%20INICIAL%20DE%20UNA%20PLANTACI%C3%93N%20DE%20Tectona%20grandis%20L.f%20A%20LA%20FERTILIZACI%C3%93N.pdf>

JIMÉNEZ, L. *El cultivo de la melina (Gmelina arborea Roxb.) en el trópico* [en línea]. Sangolquí-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2016, pp. 23-34. [Consulta: 18 marzo 2023]. ISBN: 978-9978-301-86-9. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/11687>

MARTÍNEZ, P.; et al. “Índice de sitio y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* en Tabasco, México”. *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], 2015, (México) 38(4), pp. 415-425. [Consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v38n4/v38n4a10.pdf>

McLAUGHLIN, S & WIMMER, R. *Calcium physiology and terrestrial*. Vienna, Austria: New phytologist: international journal of plant science. 1999, pp. 373-417

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. *MAG impulsa plantaciones forestales comerciales para evitar la deforestación* [blog], 2020. [Consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/mag-impulsa-plantaciones-forestales-comerciales-para-evitar-la-deforestacion/>

MORA, R & VALAREZO, C. “Impacto de la fertilización mineral y enmiendas sobre *Gmelina arborea* y *Schizolobium parahyba* en suelos andesíticos de la Amazonia Ecuatoriana”. *Revista Centro Agrícola* [en línea], 2018, (Loja) 45(4), pp. 49-57. [Consulta: 2 agosto 2023]. ISSN: 2072-2001. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v45n4/0253-5785-cag-45-04-49.pdf>

MORENO, J. Influencia de diferentes fuentes de nitrógeno en el contenido de clorofila y altura de la planta de banano hacienda Morella (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera Ingeniería Agronómica. Machala-

Ecuador. 2015, p. 9. [Consulta 20 marzo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/3010>.

MUÑOZ, M. Comportamiento inicial de *Cordia olliadora* (Ruiz y Pav) Oken plantado en asociación con maíz (*Zea mays*) bajo dos niveles de fertilización (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Costa Rica CATIE. Turrialva-Costa Rica. 1975, pp. 23-25

PROAÑO, S.; et al. “Desarrollo económico local en Ecuador: Relación entre producto interno bruto y sectores económicos”. Revista de Ciencias Sociales [en línea], 2019, (Ecuador) 25(1), pp. 82-98. [Consulta: 18 marzo 2023]. ISSN: 1315-9518. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/280/28065583005/html/>

REQUENA, F. Estudio técnico económico para la instalación de una planta piloto de sulfato de potasio (K_2SO_4) a partir del cloruro de potasio (KCL) por proceso de síntesis química para yacimientos de litio bolivianos Corporación (YLB) (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ingeniería, Carrera Ingeniería Forestal. La Paz-Bolivia. 2019, p. 25. [Consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/23105/TES-1146.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ROJAS, F.; et al. *Manual para productores de melina (Gmelina arborea) en Costa Rica* [en línea]. Cartago-Costa Rica: Centro de Investigación de Integración Bosque Industria de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa, 2004, pp. 122-158. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <http://www.fonafifo.go.cr/media/1334/manual-para-productores-de-melina.pdf>

SÁNCHEZ, C. “*Gmelina arborea* Versatilidad, Renovación y Productividad Sostenible para el Futuro”. Revista el Mueble y la Madera [en línea], 2003 (Colombia), pp. 15-16. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://docplayer.es/17658431-Versatilidad-renovacion-y-productividad-sostenible-para-el-futuro.html>

SERACSA. *Fertilizante granulado* [blog]. Cartago-Costa Rica: 2010. [Consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://nidux-stores.s3.amazonaws.com/10832/10-30-10.pdf>

TROPICOS. *Tropicos connecting the World to botanical data since 1982* [en línea]. Missouri-Estados Unidos: Jardín Botánico de Misuri, 2020. [Consulta: 12 noviembre 2022]. Disponible en: <https://tropicos.org/name/33701715>.

THOMPSON, L & TROEH, F. *Nutrición vegetal*. Barcelona-España: Primera Edición, 2002, pp. 35-89

UGARTE, M.; et al. *Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad Pimiento* [en línea]. México, 2007, p. 71. [Consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/05/Nutricion-Vegetal-en-pimiento.pdf>

VILLABLANCA, A & VILLAVICENCIO, A. “Los fertilizantes en la Agricultura”. Arica: Informativo INIA-URURI [en línea], 2010, (Chile), pp. 1-2. [Consulta: 17 enero 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4355>

WARNOCK, R., et al. “Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de Caraota”. *Agronomía Tropical* [en línea], 2006, (Venezuela) 56(1), p. 23. [Consulta: 6 julio 2023]. ISSN 0002-192X. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/at/v56n1/art02.pdf>



ANEXOS

ANEXO A: REGISTRO DE TOMAS DE DATOS EN CAMPO

#	DAP	ALTURA	NUMERO DE HOJAS	OBSERVACIONES
DOSIS				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

ANEXO B: PROMEDIOS DE LOS VALORES TOMADOS EN CAMPO

Las tablas muestran el resumen de los datos tomados en campo de cada una de las variables desde el inicio hasta el final de la investigación.

Bloque	Tratamientos	DAP 0 días	DAP 40 días	DAP 80 días	DAP 120 días
1	T2	2,07	4,67	6,17	7,67
1	T3	2,61	5,38	7,31	9,11
1	T1	2,36	4,77	6,62	7,98
2	T1	2,83	5,78	7,45	9,06
2	T2	2,22	4,81	6,42	8,20
2	T3	2,27	5,17	6,99	9,11
3	T4	2,72	5,79	7,43	8,98
3	T3	2,84	5,45	7,09	8,63
3	T2	2,62	5,14	6,91	8,27

3	T1	2,43	4,90	6,69	8,26
4	T1	2,74	5,55	7,28	9,47
4	T2	3,02	5,37	7,46	9,32
4	T3	2,54	5,07	6,91	8,79
4	T4	2,94	5,75	7,61	9,74

Bloque	Tratamientos	ALTURA 0 días	ALTURA 40 días	ALTURA 80 días	ALTURA 120 días
1	T2	2,29	3,56	4,33	5,69
1	T3	2,76	4,21	5,06	6,38
1	T1	2,57	4,00	4,93	7,15
2	T1	2,89	4,52	5,18	7,28
2	T2	2,55	3,91	4,76	6,25
2	T3	2,36	3,70	4,58	6,18
3	T4	2,80	4,41	5,17	6,65
3	T3	2,84	4,49	5,27	6,65
3	T2	2,75	4,29	5,08	6,66
3	T1	2,56	4,10	4,87	7,06
4	T1	2,78	4,14	5,04	7,32
4	T2	2,88	4,38	5,30	6,87
4	T3	2,66	4,04	4,89	6,52
4	T4	2,84	4,26	4,88	6,53

Bloque	Tratamientos	# Hojas 0 días	# Hojas 40 días	# Hojas 80 días	# Hojas 120 días
1	T2	12,00	16,81	19,88	25,75
1	T3	12,69	17,31	21,13	26,13
1	T1	11,69	17,06	21,13	28,00
2	T1	11,81	18,19	21,06	26,56
2	T2	12,94	16,88	20,00	25,81
2	T3	12,19	16,75	19,44	25,63
3	T4	13,13	20,25	22,25	28,38
3	T3	12,75	18,06	20,81	27,81
3	T2	11,88	19,00	22,25	27,63
3	T1	11,94	17,44	21,19	26,06
4	T1	12,50	17,94	20,81	27,00
4	T2	12,63	17,50	21,88	28,44
4	T3	12,50	17,63	20,94	27,75
4	T4	12,00	17,69	21,38	28,25

ANEXO C: RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

Reconocimiento de la zona de estudio en el cual la plantación tiene 3,4 x 3,4 m



Delimitación de los tratamientos y de las repeticiones con las balizas



ANEXO D: DOSIFICACIÓN Y APLICACIÓN DEL FERTILIZANTE

Fertilizantes pesados y enfundados



Medición de la estaca a 20 cm y 20 cm de profundidad del hoyo y la distancia de la planta igual de 20 cm



Aplicación de la fertilización



ANEXO E: EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES EN CAMPO

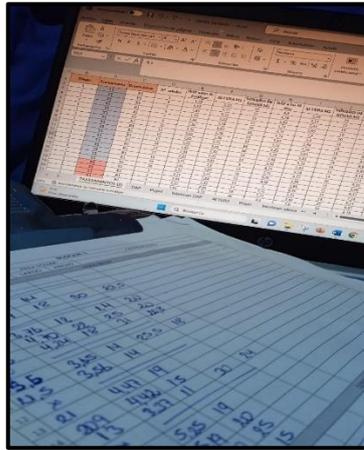
Medición del diámetro a la altura del pecho



Medición de la altura



Tabulación de los datos obtenidos





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 15 / 12 / 2023

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: María de los Angeles Chuqui Chabla
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Ingeniería Forestal
Título a optar: Ingeniera Forestal
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Fernanda Arévalo M.



2107-DBRA-UPT-2023