

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Ambiente y Desarrollo

Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación del efecto de labranza del suelo, sustratos y
fertilización en el primer año de crecimiento de plantaciones de
Gmelina arborea en Zamorano**

Estudiante

Maria Fernanda Zepeda Andrade

Asesores

Josué León, Mtr.

Lesly Licon, Mtr.

Honduras, agosto 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MAIER

Vicepresidenta y Decana Académica

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos	14
Localización del Estudio	14
Análisis de Suelo en Laboratorio	15
Etapas del Estudio.....	15
Producción de Plántulas en Vivero	15
Preparación del Sitio para Establecimiento de la Plantación	16
Implementación de Mecanización en las Parcelas con Subsoleo.....	17
Plantación en Campo	18
Aplicación de Fertilizantes	19
Aplicación de Hidrogel	20
Registro de Datos en Campo.....	21
Fases de Toma de Datos en Campo	21
Diseño Experimental.....	23
Porcentaje de Supervivencia.....	24
Resultados y Discusión.....	25
Respuesta al Tipo de Sustrato Utilizado en Vivero.....	25
Respuesta a Tratamientos Convencional y Subsoleo en el Suelo.....	28
Respuesta a Tratamientos de Fertilización	30

Primera Fertilización: NPK 12-24-12	30
Segunda Fertilización: Fastrac 20-15-5	32
Respuesta a la Interacción entre los Tratamientos de Suelo, Tipo de Sustrato y Tres Dosis de Fertilización en la Plantación de <i>Gmelina arbórea</i> en Zamorano.....	36
Porcentaje de Supervivencia en la Plantación de <i>Gmelina arbórea</i> en Zamorano.....	38
Conclusiones.....	42
Recomendaciones.....	43
Referencias	44
Anexos	48

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Caracterización fisicoquímica del suelo en Zona 1, en Zamorano.	15
Cuadro 2 Descripción de los tipos de sustratos utilizados en vivero para la plantación de G. arbórea en Zamorano.	16
Cuadro 3 Caracterización fisicoquímica de los sustratos utilizados en vivero.	16
Cuadro 4 Descripción de los tipos de labranza de suelo en plantación de G. arbórea en Zamorano.	17
Cuadro 5 Descripción de tratamientos de fertilización en la primera y segunda aplicación en plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.	20
Cuadro 6 Descripción de las fases de toma de datos en plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.	22
Cuadro 7 Descripción de los tratamientos para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.	23
Cuadro 8 Categoría para la evaluación de la supervivencia de las plantas.	24
Cuadro 9 Resultados del tipo de sustrato: Estiércol y Aserrín para las variables de DAC y Altura total en vivero.	25
Cuadro 10 Resultados del tipo de sustrato: Estiércol y Aserrín para las variables de DAC y Altura total en la Fase 1 de toma de datos.	26
Cuadro 11 Resultados del tipo de sustrato: Estiércol y Aserrín para las variables de DAC, Altura total y Altura de copa utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 2 de toma de datos.	26
Cuadro 12 Resultados de tratamientos de suelo: Convencional y Subsoleo para las variables de DAC y Altura total en plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 1 de toma de datos.	28
Cuadro 13 Resultados de tipos de labranza del suelo para las variables de DAC, Altura total y Altura de copa en plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 2 de tomas de datos.	29
Cuadro 14 Resultados de tratamientos de fertilización: F0, F1, F2, F3 para las variables de DAC y Altura total utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 1 de toma de datos.	31
Cuadro 15 Resultados del tipo de sustrato: Estiércol y Aserrín para las variables de DAC, Altura total y Altura de copa utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 2 de toma de datos.	33
Cuadro 16 Resultados de la interacción entre tipo de labranza de suelo, tipo de sustrato y dosis de fertilización para las variables de DAC y Altura total utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.	36

Cuadro 17 Resultados de la interacción entre tipo de labranza de suelo, tipo de sustrato y dosis de fertilización para las variables de DAC, Altura total y Altura de copa utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.	37
Cuadro 18 Porcentaje de sobrevivencia en la Fase 1, a los 173 días de edad de la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.	39
Cuadro 19 Porcentaje de sobrevivencia en la Fase 2, a los 260 días de edad de la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.	40

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación geográfica de la plantación de Gmelina arbórea de Zona 1 en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.	14
Figura 2 Mapa de distribución de tipos de labranza y muestreo de suelo en plantación de G. arbórea en Zona 1, Zamorano.	18
Figura 3 Esquema de distribución de tipos de labranza de suelos, fertilización y tipo de sustrato.....	19
Figura 4 Gráfico de comparación de medias para la variable Altura total en la fase 1 y 2.	35
Figura 5 Gráfico de comparación de medias para la variable DAC en la fase 1 y 2.....	35

Índice de Anexos

Anexo A Costos variables de la plantación de Gmelina arbórea en Zona 1, Zamorano.	48
Anexo B Gráfico de precipitación mensual acumulada en Zamorano en el año 2021 y 2022.	51
Anexo C Resultados de análisis estadísticos fase 1 y fase 2	52

Resumen

La *Gmelina arborea* es una especie forestal muy versátil y con una creciente popularidad en los últimos años. Se puede desarrollar bajo distintas condiciones, lo que la hace ideal para su introducción en países con clima tropical. En Honduras esta especie ha sido introducida solamente con fines demostrativos. Se registra poca investigación, documentación e implementación de tecnologías relacionadas a las prácticas de uso de suelos, nutrición, entre otros, que contribuye a la innovación en el manejo eficiente y adecuado de estas plantaciones. Por tanto, esta investigación tuvo como propósito evaluar el efecto de labranza de suelo, tipos de sustratos y tres dosis de fertilización en plantaciones jóvenes de *Gmelina arborea* en Zamorano. Para esta investigación se realizó un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con un arreglo factorial de 16 x 2 x 2. Específicamente se evaluó la respuesta de la especie ante el tipo de labranza del suelo (convencional y subsoleo), tratamientos de fertilización en plantación y el tipo de sustrato utilizado en vivero. El tratamiento CEF3, con labranza convencional de suelo, sustrato a base de estiércol y dosis de fertilización de 60 g/planta (F3) mostró la mejor respuesta en crecimiento de altura total, altura de copa y diámetro (DAC) a 260 días de establecida la plantación.

Palabras clave: Altura total, aserrín, estiércol bovino, plantación forestal, subsoleo.

Abstract

Gmelina arborea is a very versatile forest species with increasing popularity in recent years. It can develop under different conditions, which makes it ideal for its introduction in countries with tropical climates. In Honduras this species has been introduced only for demonstration purposes. There is limited research, documentation and implementation of technologies related to soil use practices, nutrition, among others, that contribute to innovation in the efficient and adequate management of these plantations. Therefore, the purpose of this research was to evaluate the effect of soil tillage, types of substrates and three doses of fertilization in young plantations of *Gmelina arborea* in Zamorano. For this research, a randomized complete block design with a factorial arrangement of 16 x 2 x 2 was used. Specifically, the response of the species to the type of soil tillage (conventional and subsoiling), fertilization treatments in the plantation and the type of substrate used in the nursery were evaluated. The CEF3 treatment, with conventional soil tillage, manure-based substrate, and fertilization dose of 60 g/plant (F3) showed the best response in total height, crown height and diameter growth (DAC) 260 days after planting.

Key words: Cattle manure, forest plantation, sawdust, subsoiling, total height.

Introducción

La *Gmelina arborea* es una especie originaria del sureste del continente asiático. Es una especie decidua de vida corta (30-50 años), de porte medio a alto, normalmente de hasta 30 m de altura y en algunos casos hasta 40 m. Adicionalmente, cuenta con un sistema radicular profundo, que puede ser superficial en suelos con capas endurecidas u otras limitantes de profundidad. Fuste marcadamente cónico, por lo regular de 50-80 cm de diámetro, en ocasiones de hasta 143 cm, sin contrafuertes, pero en ocasiones engrosado en la base (Álvaro Vallejo y Zapata, 2018).

La especie se puede desarrollar en diversas condiciones, lo que la hace una de las preferidas, ya sea para aprovechamiento comercial o programas de reforestación. Esta se puede adaptar a condiciones de vida de Bosque Tropical Muy Húmedo, Húmedo y Seco. Esta especie es de gran versatilidad, posee la capacidad de responder en condiciones donde la precipitación media anual está entre 1,000 y 3,000 mm. Así mismo, su extensa adaptabilidad le permite desenvolverse de manera óptima en altitudes que pueden variar, desde 0 hasta 500 msnm y con temperaturas medias entre 24 y 35 °C (Murillo y Valerio, 1991).

Para el año 2004, existían aproximadamente 700,000 hectáreas de melina en plantaciones. Se han establecido pequeñas parcelas forestales y entornos agroforestales en África centro-occidental y oriental, el sudeste asiático, el Pacífico Sur y el norte de América Latina (Dvorak, 2004). En América Central existe un total de 225,000 ha de plantaciones forestales, de las cuales 52,000 ha (23%) han sido plantadas con melina (*Gmelina arborea*). Esta ha sido plantada con propósitos comerciales tanto en Costa Rica como en Guatemala. El Proyecto Madeleña de CATIE ha promovido la plantación de la especie en Panamá, Nicaragua, El Salvador y Honduras, pero ha sido con fines principalmente demostrativos, para producir troncos y leña para el consumo local. En estos países no se reporta ninguna superficie importante plantada o reforestada con melina (Alfaro y Camino, 2002).

Esta especie es una de las más importantes ya que posee una basta versatilidad comercial. Esta especie posee características ideales para la producción de madera de mejor utilidad en los

trópicos, además de ser una excelente productora de papel con propiedades superiores a aquellas de la mayoría de las que son pulpas de madera dura. Sus hojas pueden utilizarse como forraje y sus flores producen abundante néctar del cual se produce miel de alta calidad. Asimismo, tiene rendimientos promedios de 22 a 25 m³/ha/año en sitios óptimos, por lo que se podrían esperar a la cosecha en un turno de 12 años entre 264 y 300 m³/ha (Sampayo Maldonado et al., 2011). Debido a esto la *G. arbórea* es una de las especies de gran interés para sistemas silviculturales y en programas de reforestación.

De acuerdo con un reporte realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], (2020) los recursos que se destinan a la investigación forestal son insuficientes. Se observa un marcado desequilibrado entre los países desarrollados y en vías de desarrollo, los gobiernos, la industria y los diferentes segmentos del sector forestal. Es por ello, que la falta de recursos destinados para la implementación de tecnologías relacionadas a las prácticas de uso de suelos, nutrición, entre otros, ponen en riesgo la innovación en cuanto al manejo eficiente y adecuado de estas plantaciones.

Las prácticas de manejo en la silvicultura son de gran importancia, ya que, aseguran el buen desarrollo de las plantaciones que, a su vez, dependiendo de los requerimientos de la especie, varían según el nivel de importancia. Por su parte, Agus et al. (2004) realizaron una evaluación de plantaciones de *G. arbórea* localizadas en diferentes clases de sitios en Indonesia y encontraron que el nitrógeno (N) y el fósforo (P) fueron los nutrientes determinantes para su crecimiento.

De forma semejante a los nutrientes, los sustratos de crecimiento en las primeras etapas de producción de plántulas en vivero cumplen un papel muy importante, desempeñando múltiples funciones, como acondicionador de la parte física, permitiendo la mejora de muchas variables como la porosidad y el drenaje (Gil, 2017). Es aquí donde radica la importancia de observar el tipo de sustrato utilizado en vivero a nivel de establecimiento de plantaciones forestales, evidenciando el soporte que el tipo de sustrato le puede dar a la planta a nivel de campo. Complete esta segunda línea o súbalo.

Los problemas de compactación de suelos son uno de los retos a los que se enfrenta el sector de producción forestal. Las prácticas de manejo como sistemas de labranza favorecen los rendimientos de especies forestales (Claverán Alonso y Rulfo Vilchis, 2001). Estas mejoran la estructura y aireación del suelo, aportando un desarrollo radicular óptimo. Sin embargo, existe un vacío relacionado a la documentación de estudios que estén enfocados a la adaptación de nuevas tecnologías en el sector forestal. es de vital importancia para el análisis de la productividad y desarrollo de las plantaciones forestales, permitiendo la constante evolución de estas.

En la actualidad, el sector forestal hondureño carece de registros y documentación referentes a la implementación de tecnologías de preparación de sitio, sustratos y aplicación de fertilizantes en plantaciones forestales. El presente proyecto de investigación pretende llenar los vacíos de conocimiento existentes en el tema de plantaciones forestales de *Gmelina arbórea*, brindando una respuesta a la interacción de los tratamientos como una contribución al sector forestal del país.

Con base a lo anterior, la investigación se llevó a cabo con los siguientes objetivos: evaluar el efecto de tipo de labranza del suelo, dos tipos de sustratos y tres dosis de fertilización en el crecimiento de plantaciones jóvenes de *G. arbórea* en Zamorano. Específicamente, este estudio propuso evaluar la respuesta de la aplicación de mecanización de subsoleo en líneas al suelo en el crecimiento inicial de plantaciones de *G. arbórea*, evaluar el efecto de dos tipos de sustratos utilizados en vivero y tres dosis de fertilización en plantación en su crecimiento al primer año y estimar el porcentaje de sobrevivencia para cada uno de los tratamientos aplicados en plantación de *G. arbórea* en Zamorano.

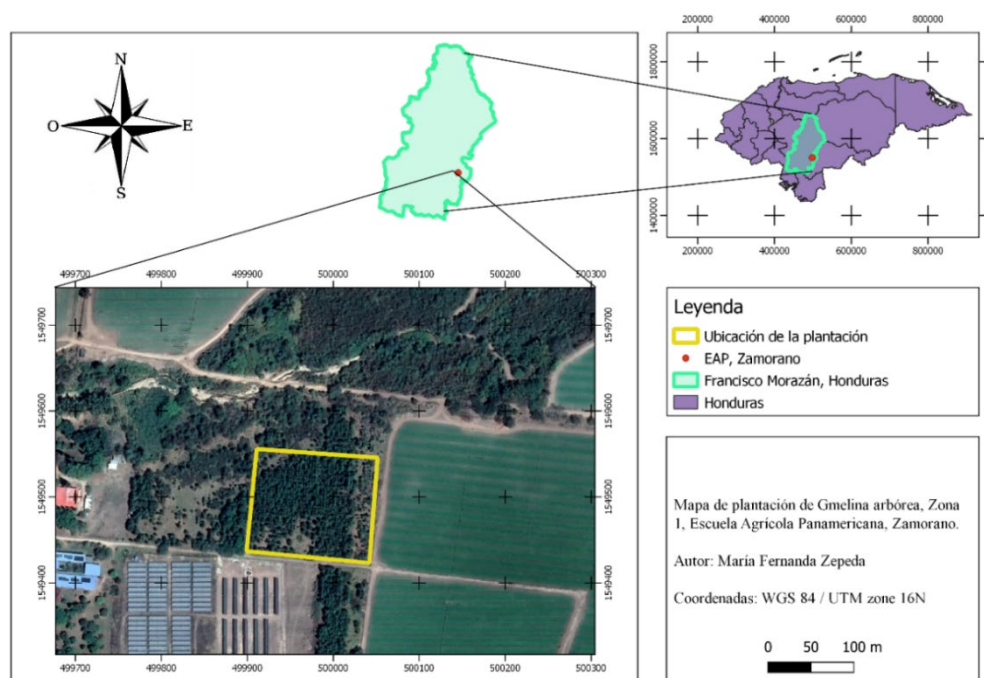
Materiales y Métodos

Localización del Estudio

El estudio se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en el Valle de Yeguaré, Municipio de San Antonio de Oriente, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. La plantación de *Gmelina arborea* se estableció en Zona 1 (Figura 1) con un área de 1.4 ha en total, dividida en parcelas para la distribución de los tratamientos. La zona tiene como coordenadas 14°00'36"N 87°00'40"O, cuenta con una altitud de 800 msnm, una temperatura promedio de 24°C y precipitación media anual de 1,100 mm. Según el estudio de Hernández (2020) en Zona 1 predominan los suelos francos y franco arcillosos, con requerimiento de drenajes para mejorar su capacidad potencial.

Figura 1

Ubicación geográfica de la plantación de Gmelina arborea de Zona 1 en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.



Análisis de Suelo en Laboratorio

Este análisis edafológico consiste en evaluar el contenido de macro y micronutrientes presentes en el suelo del área destinada para la plantación. Para su realización, se tomaron cuatro muestras distribuidas en parcelas en el área total. Por medio de las cuales se pudo identificar deficiencias vinculadas a la disponibilidad de nutrientes, detalladas en el Cuadro 1. Los resultados indican que hay insuficiencia de nitrógeno (N), magnesio (Mg) y cobre (Cu). En la Figura 2, se presenta la distribución de las muestras que se tomaron por parcelas, la cual fue una muestra compuesta para cada una de las subparcelas. Estas fueron realizadas en zigzag a lo largo de cada subparcela, para la obtención de una muestra representativa del área, basado en la Guía técnica para muestreo de suelos por Espinoza y Mendoza, (2017).

Cuadro 1

Caracterización fisicoquímica del suelo en Zona 1, en Zamorano.

Muestra	Textura	pH	g/100g			mg/kg (extractable)			
			M.O.	N total	N dig	P	K	Mg	Cu
Parcela 1	Franco	5.93	3.51	0.18*	0.17*	29	588	182*	1.6*
Parcela 2	Franco	5.91	2.98	0.15*	0.14*	17	532	168*	1.7*
Parcela 3	Franco	6.05	2.63	0.13*	0.14*	12*	497	207*	1.3*
Parcela 4	Franco	6.33	3.37	0.17*	0.16*	36	555	168*	1.4*

Nota. Valores con (*) corresponden a disponibilidad baja del nutriente. M.O: Materia orgánica. N total: Nitrógeno total. N Dig.: Nitrógeno digerible. P: Fósforo. K: Potasio. Mg: Magnesio. Cu: Cobre.

Etapas del Estudio

Por la naturaleza del estudio, este se llevó a cabo por medio de distintas etapas. Estas van desde el registro de la producción de plantas en vivero, hasta el control de cada mantenimiento realizado en la plantación a nivel de campo, asegurando así un mejor control de cada uno de los tratamientos para fines de este experimento.

Producción de Plántulas en Vivero

Para la producción de plántulas en vivero se utilizaron dos tipos de sustrato en proporciones 50:25:25: 1) 50% de suelo base enriquecido con materia orgánica, 25% de estiércol bovino

descompuesto y 25% de arena fina. 2) 50% de suelo base enriquecido con materia orgánica, 25% de aserrín y 25% de arena fina, tal como se muestra en el Cuadro 2. Para ambos tipos de sustratos, se aplicó dos gramos de fertilizante 18-46-0 por plántula a un mes de haber sido trasplantada en la bolsa. La edad de las plántulas en vivero al momento de establecidas en la plantación fue de 162 días, y previo a su traslado a campo se tomaron datos de crecimiento de 100 plantas para cada sustrato, para así, poder compararlos a nivel de plantación.

Cuadro 2

Descripción de los tipos de sustratos utilizados en vivero para la plantación de G. arbórea en Zamorano.

Tratamiento	Descripción de las proporciones utilizadas
Estiércol	50% suelo base, 25% arena fina, 25% de estiércol de vaca
Aserrín	50% suelo base, 25% arena fina, 25% de aserrín

En el Cuadro 3 se muestra los resultados obtenidos en el análisis de suelos realizado para los sustratos. Esto resultó en una mayor disponibilidad de nutrientes nitrógeno digerible (N Dig.), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y materia orgánica (MO) en el sustrato a base de estiércol.

Cuadro 3

Caracterización fisicoquímica de los sustratos utilizados en vivero.

Muestra de tipo de sustrato	Textura	pH	g/100g			mg/kg (extractable)			
			M.O.	N total	N dig	P	K	Mg	Cu
Aserrín	Franco Arenoso	6.85	7.61	0.41	0.21	566	909	488	3.9
Estiércol	Franco Arenoso	6.74	8.23	0.38	0.27	827	919	497	3.9

Nota: M.O: Materia orgánica. N total: Nitrógeno total. N Dig.: Nitrógeno digerible. P: Fósforo. K: Potasio. Mg: Magnesio. Cu: Cobre.

Preparación del Sitio para Establecimiento de la Plantación

Esta fase consistió en la preparación del terreno destinado para el establecimiento de la plantación. Previo al establecimiento de la plantación, en el terreno seleccionado existía una plantación de *Pinus caribaea*, la cual, para propósitos de esta investigación, se cosechó para luego proceder a la limpieza del terreno. Las labores realizadas para la preparación de sitio fueron la limpieza

y eliminación de maleza fundamentales para el correcto desarrollo de la especie. Posteriormente, se realizó el diseño y trazado en el cual se marcó la posición de cada planta, utilizando un distanciamiento de 4 x 4 metros entre plantas con arreglo cuadrado, esto depende del propósito para el cual se establezca la plantación. Rojas Rodríguez et al. (2004) menciona la importancia tomar en cuenta en propósito comercial de la plantación, ya que si es biomasa se recomienda un distanciamiento de 2.5 a 2.5 metros ¿?. Sin embargo, en plantaciones destinadas a producción de madera, la *G. arbórea* responde muy bien a distanciamientos igual o mayores de 3.5 x 3.5 metros.

Implementación de Mecanización en las Parcelas con Subsoleo.

El Cuadro 4, se presenta la descripción de los tratamientos de suelo realizados para la investigación. Los tratamientos del suelo fueron dos, en el tratamiento convencional, se realizó un ahoyado a 45 cm de profundidad. En las parcelas en las que se realizó el tratamiento de mecanización, se realizó el subsoleo por medio de un implemento de arado con cincel, obteniendo una profundidad de 60 cm con un distanciamiento de 4 metros entre líneas de arado. Este se aplicó en dos bloques en el área total la plantación y se hizo dirigido en líneas según el diseño para plantación como se muestra en la Figura 2.

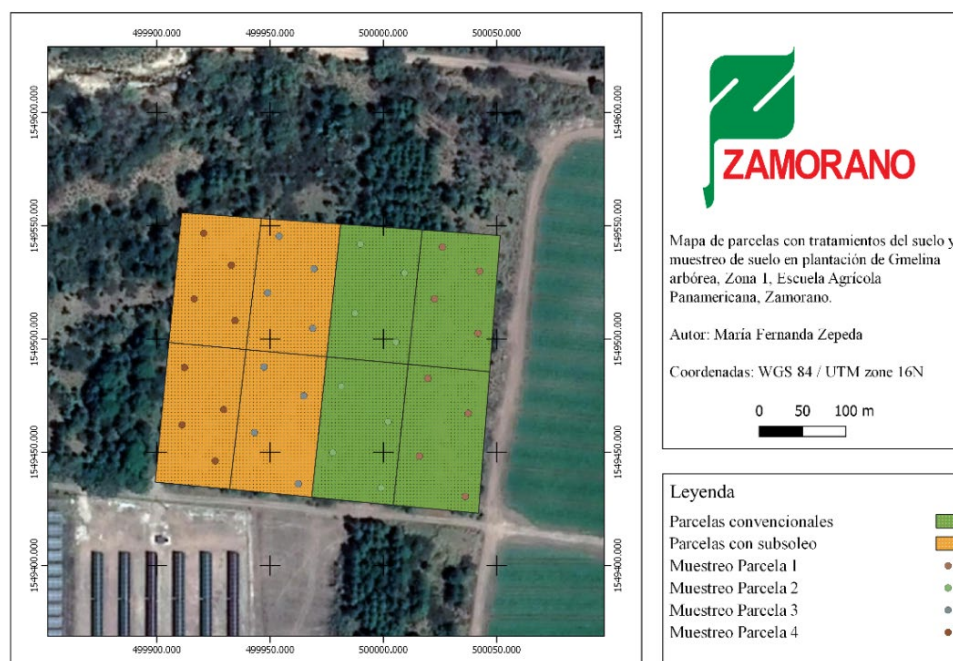
Cuadro 4

Descripción de los tipos de labranza de suelo en plantación de G. arbórea en Zamorano.

Tipo de labranza de suelo	Descripción
Subsoleo	Arado de cincel a 60 cm de profundidad
Convencional	Ahoyado a 45 cm de profundidad

Figura 2

Mapa de distribución de tipos de labranza y muestreo de suelo en plantación de G. arbórea en Zona 1, Zamorano.



Plantación en Campo

Una vez preparada el área para la plantación, se procedió a hacer la distribución de las unidades experimentales de acuerdo con el tipo de labranza de suelo (convencional o subsoleo), tipo de sustrato (aserrín o estiércol) y dosis de fertilización (30 g/planta, 45 g/planta, 60 g/planta y control).

Las parcelas fueron divididas en dos parcelas principales: subsoladas y convencionales. Seguidamente, se determinaron las subparcelas de acuerdo con los tipos de sustratos utilizados en vivero y dentro de cada subparcela se hizo la distribución de manera aleatoria de los tratamientos de fertilización por cada hilera de plantas. De esta manera se distribuyó dos repeticiones de cada tratamiento de fertilización por subparcela. Las subparcelas tienen 8 hileras de 14 plantas cada una, utilizando un distanciamiento entre plantas y entre hilera, de 4 x 4 metros para un total de 112 plantas por subparcelas y un total de 896 plantas totales distribuidas en un área de 1.4 ha. En la Figura 3, se observa la distribución de los tratamientos, en donde se muestran las parcelas convencionales y

subsoladas, las subparcelas con sustrato a base de estiércol bovino y aserrín y la dosis de fertilización para cada una de las hileras.

Figura 3

Esquema de distribución de tipos de labranza de suelos, fertilización y tipo de sustrato.

CALLE	8 hileras	SUBSOLEO	Aserrín	BLOQUE 1										CON SUBSOLEO ASERRIN	BLOQUE 2									
				30											60									
				45											Control									
				Control											30									
				60											45									
8 hileras	8 hileras	SUBSOLEO	Estiércol	45										CON SUBSOLEO ESTIERCOL	Control									
				Control											45									
				30											30									
				60											60									
				45											Control									
8 hileras	8 hileras	CONVENCIONAL	Aserrín	30										CONVENCIONAL ASERRIN	60									
				45											45									
				60											60									
				Control											Control									
				30											30									
8 hileras	8 hileras	CONVENCIONAL	Estiércol	Control										CONVENCIONAL ESTIERCOL	Control									
				30											Control									
				45											60									
				60											30									
				Control											45									

Aplicación de Fertilizantes

En el Cuadro 5, se presentan las especificaciones de los tratamientos de fertilización utilizados para la plantación. Se realizó la primera aplicación de fertilizante NPK con composición de 12-24-12 en los primeros 0-10 días de establecida. Se aplicaron tres dosis: 30, 45 y 60 gramos por planta en circunferencia al pie de planta definidas basándose el estudio de González-Rojas et al., (2016) en Costa Rica.

En la segunda aplicación de fertilización se utilizó Fastrac con una composición de 20-15-5, a los 197 días de establecida la plantación, en tres dosis: 30, 45 y 60 gramos por planta en circunferencia al pie de planta, basado en el estudio de Villacis (2019) en Zamorano, donde recomienda la búsqueda de dosificación ideal para el mejor desarrollo de las especies forestales. Esta aplicación de fertilización se realizó en conjunto con hidrogel como medida de soporte para mejorar el aprovechamiento del fertilizante en las plantas dado que se aplicó en época seca.

Cuadro 5

Descripción de tratamientos de fertilización en la primera y segunda aplicación en plantación de Gmelina arborea en Zamorano.

Primera fertilización			
Tratamiento	Tipo de fertilizante	Dosificación (g/planta)	Edad al momento de aplicación
F0	Control	0	0-10 días
F1	NPK 12-24-12	30	0-10 días
F2	NPK 12-24-12	45	0-10 días
F3	NPK 12-24-12	60	0-10 días
Segunda fertilización			
F0	Control	0	197 días
F1	FASTRAC 20-15-5	30	197 días
F2	FASTRAC 20-15-5	45	197 días
F3	FASTRAC 20-15-5	60	197 días

Aplicación de Hidrogel

Para poder observar la efectividad de la segunda fase de fertilización, en el tiempo de acción establecido para este estudio, se decidió aplicar las distintas dosis de Fastrac en abril de 2022, uno de los meses más secos del año, a los 197 días de edad. Debido a esto se implementó como medida de soporte para la planta el uso de una tecnología que permita que la plantación pueda desarrollarse de manera óptima con periodos largos entre lluvia.

El hidrogel es poliacrilato de potasio, es un polímero fabricado con acrilatos absorbentes de agua. Tiene la capacidad de absorber hasta 500 veces su peso en agua, mantener la humedad y los nutrientes hasta por un espacio de nueve meses en función de la calidad del agua y del suelo. Este polímero permanece en el suelo durante siete años, tiempo necesario para su degradación en el suelo (Ortega-Torres et al., 2020). Se utilizó una dosis de 10 g por planta y se distribuyó de manera homogénea en toda la plantación, es por esto, que no se consideró como una covariable. Este se aplicó como soporte para la segunda fase fertilización, en la cual, se aplicó la dosificación definida para cada tratamiento utilizando fertilizante Fastrac 20-15-5.

Registro de Datos en Campo

Las variables utilizadas para este estudio, el diámetro de cuello o base (DAC) y la altura (h) son las principales medidas en los inventarios forestales para brinzales o plantaciones jóvenes, las cuales son requeridas en la toma de decisiones para el manejo de plantaciones forestales, así como para la investigación de modelos de crecimiento, caracterización de la estructura del rodal, estimación del rendimiento de la madera y determinación de la altura predominante, con el fin de evaluar la calidad del sitio (Castillo-Gallegos et al., 2017).

Para poder evaluar la respuesta de la *G. arbórea* a tipo de labranza de suelo, tipo de sustrato y tratamientos de fertilización, este estudio a las unidades de observación se le tomaron las medidas del diámetro en la base o cuello (DAC), la altura total (Ht) para la primera fase de toma de datos a los 173 días de establecida. Debido a que esta es una especie caducifolia, en la segunda fase de toma de datos, a los 260 días de establecida, se evaluaron las siguientes variables: diámetro en la base o cuello (DAC), la altura total (Ht) y la altura de copa (Hc).

Asimismo, se determinó el porcentaje de sobrevivencia para cada uno de los tratamientos. Este se realizó mediante el conteo de plantas vivas debido al número total plantado al inicio de la plantación. Lo anterior con el propósito de conocer cuál es el comportamiento de la especie en campo con las condiciones de Zamorano, tomando como referencia el estudio de (Ramírez Rodas, 2018)

Fases de Toma de Datos en Campo

Con el propósito de observar el comportamiento de la especie en dos etapas de crecimiento diferentes, se realizó la toma de datos en dos fases, para contemplar evolución de la especie conforme su edad en campo. Como se muestra en el Cuadro 6, la primera fase de toma de muestra se realizó a los 150 de edad, obteniendo el crecimiento de la especie con la aplicación de tres dosis del fertilizante NPK 12-24-12. Mientras que, en la segunda fase a los 260 días edad se utilizó Fastrac 20-15-5, donde se observó la respuesta de la combinación de la dosificación acumulada.

En este caso, se tomaron datos de crecimiento cinco plantas por hilera, diez unidades de observación por tratamiento en cada subparcela, en total se obtuvo una densidad de 320 unidades de

observación evaluadas para la investigación para una intensidad de muestreo de 35%. Además, en el muestreo el nivel de confianza es del 95%, dando una diferencia de margen de error muestral de 4.96% el cual se obtuvo mediante la Ecuación 1.

$$\text{margen de error muestral} = z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad [1]$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

σ : desviación estándar de la población

z: puntuación según intervalo de confianza

Cuadro 6

Descripción de las fases de toma de datos en plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.

Fases de toma de datos	Edad de la plantación
Fase 1 (primera medición)	173 días
Fase 2 (segunda medición)	260 días

Diseño Experimental

Se realizó un de diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar (BCA) con un arreglo factorial de 2 x 2 x 4. Se contó con 16 tratamientos y dos repeticiones por cada tratamiento. Se realizó un análisis de varianza y una separación de medias Duncan para obtener las diferencias entre los tratamientos, utilizando una probabilidad menor al 5%. Este análisis se efectuó utilizando el programa Infostat versión 2020d. En el Cuadro 7 se describen los tratamientos utilizados para poder evaluar la respuesta de la plantación de *Gmelina arborea* ante los tratamientos de suelo, tratamientos de fertilización y tipo de sustrato utilizado en vivero.

Cuadro 7

Descripción de los tratamientos para la plantación de Gmelina arborea en Zamorano.

Tratamiento	Tipo de labranza del suelo	Sustrato	Fertilización (g)	Repeticiones en cada parcela
CEF0	Convencional	Estiércol	Control	2
CEF1	Convencional	Estiércol	30	2
CEF2	Convencional	Estiércol	45	2
CEF3	Convencional	Estiércol	60	2
CAF0	Convencional	Aserrín	Control	2
CAF1	Convencional	Aserrín	30	2
CAF2	Convencional	Aserrín	45	2
CAF3	Convencional	Aserrín	60	2
SEF0	Subsoleo	Estiércol	Control	2
SEF1	Subsoleo	Estiércol	30	2
SEF2	Subsoleo	Estiércol	45	2
SEF3	Subsoleo	Estiércol	60	2
SAF0	Subsoleo	Aserrín	Control	2
SAF1	Subsoleo	Aserrín	30	2
SAF2	Subsoleo	Aserrín	45	2
SAF3	Subsoleo	Aserrín	60	2

Porcentaje de Supervivencia

Para la obtención del porcentaje de supervivencia en las dos fases, se hizo un conteo de las plantas vivas en razón del número de plantas inicialmente establecidas, el cual se obtuvo mediante la utilización de la Ecuación 2 recomendada por Linares (2005). Posteriormente, se utilizó una categorización, la cual se detalla en el Cuadro 8, para evaluar el rango dentro en el que se encontró cada tratamiento, basado en la investigación realizada por (López Barreto, 2015) . Posteriormente, se realizó un análisis de separación de medias Duncan, utilizando una probabilidad menor al 5% en el programa Infostat versión 2020d.

$$\% \text{ supervivencia} = \frac{pi}{pv+pm} * 100 \quad [2]$$

En donde:

pi: Número de plantas inicialmente establecidas

pv: Número de plantas vivas

pm: Número de plantas muertas

Cuadro 8

Categoría para la evaluación de la supervivencia de las plantas.

Categoría	Porcentaje de supervivencia
Muy bueno	80 - 100%
Bueno	60 - 79%
Regular	40 - 59%
Malo	< 40%

Tomado de López Barreto, 2015

Resultados y Discusión

Respuesta al Tipo de Sustrato Utilizado en Vivero

Para poder comparar los resultados obtenidos en campo, se tomaron datos de crecimiento de *Gmelina arborea* bajo dos tipos de sustratos, antes de ser trasladadas a campo. En el Cuadro 9, se muestran los resultados obtenidos de los dos tipos de sustrato a nivel de vivero, antes del establecimiento de la plantación. Como se observa, se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ($P<0.05$). En el cual, el sustrato a base de estiércol mostró un mayor crecimiento en altura y diámetro.

Cuadro 9

Resultados del tipo de sustrato: Estiércol y Aserrín para las variables de DAC y Altura total en vivero.

Desarrollo en Vivero		
Tipo de sustrato	DAC (mm) $\pm$ D.E.	Altura total (cm) $\pm$ D.E.
Estiércol	5.2 $\pm$ 31.9a	72.25 $\pm$ 6.5a
Aserrín	4.4 $\pm$ 19.3 ^b	58.66 $\pm$ 5.5 ^b
CV%	19.2	15.4

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 10, se observan los resultados obtenidos en la evaluación de los tipos de sustratos en la Fase 1, a los 173 días de establecida la plantación. En estas existió diferencia significativa ($P<0.05$) en cuanto a la altura total de la planta, siendo el tratamiento de sustrato a base de estiércol el que mostró un mayor crecimiento en esta variable. Mientras que, en la variable de diámetro no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ($P>0.05$).

Cuadro 10

Resultados del tipo de sustrato: Estiércol y Aserrín para las variables de DAC y Altura total en la Fase 1 de toma de datos.

Fase 1 (primera medición)		
173 días de edad		
Tipo de sustrato	DAC (mm) $\pm$ D.E.	Altura total (cm) $\pm$ D.E.
Estiércol	15.63 $\pm$ 5.2a	131.07 $\pm$ 31.7a
Aserrín	15.25 $\pm$ 5.5a	117.62 $\pm$ 36.5b
CV%	18.00	11.10

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 11, se presentan los resultados obtenidos en la segunda fase de toma de datos para la variable del tipo de sustrato. Donde se encontró diferencia significativa entre los tratamientos en las variables de diámetro, altura y altura de copa ($P < 0.05$). En donde el tipo de sustrato a base de estiércol presentó mayores medias en cuanto a diámetro y altura total, mientras que el tratamiento a base de aserrín presentó mayores resultados en cuanto a la altura de copa.

Cuadro 11

Resultados del tipo de sustrato: Estiércol y Aserrín para las variables de DAC, Altura total y Altura de copa utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 2 de toma de datos.

Fase 2 (segunda medición)			
260 días de edad			
Tipo de sustrato	DAC (mm) $\pm$ D.E.	Altura total (cm) $\pm$ D.E.	Altura de copa (cm) $\pm$ D.E.
Estiércol	52.11 $\pm$ 31.9 ^a	169.72 $\pm$ 33.3 ^a	63.61 $\pm$ 21.1 ^a
Aserrín	43.56 $\pm$ 19.3 ^b	161.19 $\pm$ 45.1 ^b	68.43 $\pm$ 10.01 ^a
CV%	42.94	9.57	16.12

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación.

El sustrato a base de estiércol en su formulación presentó mayores índices en cuanto a altura total y diámetro de la planta, desde la etapa de vivero hasta la segunda fase de registro de datos. Mientras que, el sustrato a base de aserrín presentó el menor crecimiento desde la etapa de vivero, hasta la segunda fase de registro de datos. Esto concuerda con el estudio realizado por Reyes Reyes et al. (2018), en donde las plantas en las cuales la mezcla de sustrato que contenía 50% tierra de monte + 50% de estiércol de ganado, obtuvieron la mayor altura.

En el Cuadro 11 se observa mejor respuesta en cuanto a factores de crecimiento de la *Gmelina arborea* con una media en DAC (52.11 mm) y altura total (169.72 cm). Esto concuerda con Jayasinghe et al. (2010) los cuales mencionaron en su estudio que las plantas con sustrato a base de estiércol de ganado bovino aumentó significativamente el crecimiento de sus plantas; además, menciona el contenido de nutrientes entre ellos Nitrógeno, Fósforo, Calcio y Magnesio los cuales aportaron significativamente en el crecimiento inicial de la especie, lo que se comprueba con los resultados obtenido en laboratorio.

Adicionalmente, Iglesias Martínez (1995) afirma sobre el aporte de minerales del estiércol bovino el cual permite diferentes oportunidades de aprovechamiento de este. Asimismo, Trejo Escareño et al. (2013) menciona en su investigación que sus tratamientos a los 10 años aumentaron debido a la materia orgánica del producto, por lo cual, es de alto beneficio el uso de este componente en las plantas, dándole mejor rendimiento especialmente a las plantaciones forestales. En esta investigación se decidió evaluar factores de crecimiento como ser, el diámetro y la altura total de la planta con el fin de evaluar su comportamiento a nivel de campo, dándole un sustrato con distinta composición a nivel de vivero para evaluar el soporte que le brinda a la planta una vez establecida la plantación.

Varela y Basil (2011) mencionan el mejoramiento de propiedades físicas, químicas y la actividad biológica del sustrato, esto se debe al uso de estiércol bovino el cual permite una capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes, particularmente su uso en plantaciones forestales. Sin embargo, es importante recalcar que el uso de estiércol debe ser $\leq 50\%$ para disminuir el riesgo de salinidad y compactación, por lo cual, la proporción utilizada para esta investigación es ideal para el correcto rendimiento de la plantación. Las ventajas de uso de este estiércol promueven el reciclaje de residuos y es una alternativa válida sin limitaciones de explotación. Por lo cual, el fin de esta investigación promueve el aprovechamiento de residuos que permiten influir positivamente en el crecimiento del diámetro y altura total, generando plantas bien proporcionadas más allá del tamaño que tengan.

En un estudio realizado por Prieto R y Sáenz R (2011) reportaron resultados obtenidos en esta investigación el menor crecimiento se presentó en plántulas desarrolladas en 50% tierra de monte + 50% aserrín, con una altura de 39.76 cm. El mejor sustrato produjo plántulas 40% más altas en el periodo de 75 días. Cabe hacer mención que la altura de la planta se utiliza para su calificación, aunque la altura inicial no se correlaciona con la supervivencia; es decir, por si sola es de valor limitado, pero combinada con otras variables como el diámetro influye de manera importante. Asimismo, esto concuerda con los datos de esta investigación en campo donde los resultados obtenidos con el sustrato a base de aserrín tuvieron los menores crecimientos en *Gmelina arborea* por lo cual, es importante reducir este sustrato y aumentar el contenido de estiércol bovino en la formulación para mejorar la respuesta en variables de crecimiento como diámetro y altura total.

Respuesta a Tratamientos Convencional y Subsoleo en el Suelo

En el Cuadro 12, se registraron los resultados de la primera fase de registro de datos a los 173 días de edad, en donde, se observó que existió diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$). En el cual, el convencional mostró una mejor respuesta a tipo de labranza del suelo, en cuanto diámetro y altura total de la planta. Lo cual indica que a los 173 días de establecida la plantación, la labranza de suelos que mejor funciona es el convencional, partiendo de una altura media antes de ser trasladadas a campo de 72.25 cm para el sustrato a base de estiércol y 58.66 cm para el sustrato a base de aserrín.

Cuadro 12

Resultados de tratamientos de suelo: Convencional y Subsoleo para las variables de DAC y Altura total en plantación de Gmelina arborea en Zamorano en la Fase 1 de toma de datos.

Fase 1 (primera medición)		
173 días de edad		
Tipo de labranza de suelo	DAC (mm) $\pm$ D.E.	Altura total (cm) $\pm$ D.E.
Convencional	18.83 $\pm$ 3.8 ^a	150.69 $\pm$ 19.1 ^a
Subsoleo	12.05 $\pm$ 3.7 ^b	98 $\pm$ 25.1 ^b
CV%	23.85	15.51

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 13, se presentan los resultados obtenidos en la segunda fase de toma de datos para el registro de crecimiento (a los 260 días de edad) en donde, se observó que existió diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$). En este, los tratamientos de suelo convencional demostraron tener mayor crecimiento en cuanto altura total y altura de copa, mientras que el tipo de labranza de suelo en las parcelas subsoladas mostró tener un mayor crecimiento en cuanto al diámetro.

Cuadro 13

Resultados de tipos de labranza del suelo para las variables de DAC, Altura total y Altura de copa en plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 2 de tomas de datos.

Fase 2 (segunda medición)			
260 días de edad			
Tipo de labranza de suelo	DAC (mm) $\pm$ D.E.	Altura total (cm) $\pm$ D.E.	Altura de copa (cm) $\pm$ D.E.
Convencional	18.82 $\pm$ 23.1a	150.68 $\pm$ 31.4a	72.7 $\pm$ 20.2a
Subsileo	12.05 $\pm$ 29.6b	98.0 $\pm$ 29.4b	59.34 $\pm$ 17.89b
CV%	23.90	15.64	25.32

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación.

De acuerdo con los datos reportados en el primer y segundo registro de datos del estudio, en las parcelas con tratamiento convencional de suelo, es decir, ahoyado a 45 a 50 cm, se encontró mayores registros en altura y diámetro. Tomando como referencia la investigación de Mapa (1995), esto se debe a que, los procesos de mejora de condiciones en el suelo en especies forestales tropicales pueden ser efectivos hasta 72 meses después de la labranza, encontrándose diferencias en los árboles hasta después de los 84 meses.

Mapa (1995) continúa explicando que esto se debe a que esta es la edad en donde estas especies alcanzan la madurez, y estas leves mejorías en las condiciones del suelo pueden ser aprovechadas para su adaptación. Por lo anterior, los resultados obtenidos en este estudio se pueden atribuir a que la reestructuración del suelo post labranza no se ha completado en su totalidad, lo que causó que hubiera un mejor comportamiento en las parcelas que no cuentan con subsileo.

En adición a esto Clemens et al. (2010) recalca que la formación de estructura, macroestructura e incorporación de la materia orgánica en suelo mecanizado son de lento desarrollo, esto se atribuye a que este proceso es característico de depender de factores intrínsecos en el suelo, como ser la presencia de arcillas, arenas y limos y arcillas. En conjunto con variables externas como ser precipitación y viento.

Tomando como referencia otros estudios realizados, vinculados a sistemas de labranza, se puede inferir que existe un período de reestructuración en el suelo, y vinculando estos resultados con la presente investigación; esto puede tener efecto en el desarrollo radicular de las plantas, lo que requiere períodos más prolongados de investigación. Sin duda alguna, las variables tomadas para la presente investigación son determinantes para evaluar el desarrollo de la plantación, esto conlleva a una mejor toma de decisiones en cuanto al manejo de las plantaciones establecidas.

Los resultados obtenidos en esta investigación se pueden vincular con el estudio de Valverde et al. (2017) en donde mencionan que al no haber diferencia significativa ($P>0.05$) entre los tratamientos de labranza y sin labranza. Esto se atribuye a que el periodo de evaluación es aún muy corto para evidenciar sus efectos en el desarrollo de los árboles. Consecuentemente, para una mejor evaluación de los tratamientos se puede recomendar períodos más largos entre mediciones, es decir, hasta 60 meses después de la labranza.

Respuesta a Tratamientos de Fertilización

Primera Fertilización: NPK 12-24-12

En el Cuadro 14 se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización utilizados ($P<0.05$). La dosis de fertilización F3 (60 g/planta), la cual contenía mayor cantidad de gramos por planta, provocó un aumento en el diámetro y altura de la especie. En contraste con los tratamientos que no contaron con la adición de fertilizante F0 (Control), demostraron tener el menor crecimiento en cuanto a diámetro y altura en la primera fase del estudio. Además, se encontró que, los tratamientos F1 (30 g/planta) y F2 (45 g/planta) no obtuvieron diferencia significativa entre ellos ($P>0.05$) en cuanto a altura.

Cuadro 14

Resultados de tratamientos de fertilización: F0, F1, F2, F3 para las variables de DAC y Altura total utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 1 de toma de datos.

Fase 1 (primera medición)				
173 días de edad				
Tratamiento	Fertilizante	g/planta	DAC (mm) ± D.E.	Altura total (cm) ± D.E.
F3	NPK 12-24-12	60	16.43 ± 5.01a	128.53 ± 33.74a
F1	NPK 12-24-12	30	16.08 ± 5.04ab	125.41 ± 33.7ab
F2	NPK 12-24-12	45	15.17 ± 5.6bc	124.13 ± 35.06ab
F0	NPK 12-24-12	Control	14.08 ± 5.06c	119.31 ± 31.03b
CV%			23.85	15.51

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación.

Thiers et al. (2014) hace énfasis la necesidad de fertilizar una plantación forestal con la deficiencia de elementos nutritivos en el suelo. Donde en su estudio demuestra la mejora en la conservación de especies forestales al aplicar distintas dosis de fertilización en su estudio, donde se obtuvieron mejores resultados en las dosis de mayores gramos por planta al año (250 g/planta/año). Esto puede explicar los resultados obtenidos en cuanto diámetro y altura, donde la dosis de fertilización que contenía una mayor dosificación por planta, por ende, mayor disponibilidad de nutrientes para la planta obtuvo mejores resultados. De igual importancia, es necesario evaluar el contenido nutricional del suelo para tener conocimiento de la biodisponibilidad de nutrientes que caracterizan al suelo empleado para plantaciones, con el fin de conocer la cantidad necesario para futuras dosificaciones.

Donoso et al. (2015), mencionan que el NPK en fórmula 12-24-12, es un fertilizante granular con un alto contenido de fósforo que es especialmente necesario en etapas tempranas de las plantaciones para promover el desarrollo de raíces y el crecimiento de las especies forestales tropicales. Esto puede validar el comportamiento que tuvo la *G. arbórea* ante los tratamientos de fertilización en la primera fase, donde se puede inferir que la dosificación mayor (60 g/planta) brindó un mejor soporte para el establecimiento de la plantación a 173 días de edad.

En un estudio realizado por Kane y Mcconnell, (1992), en el cual utilizó una dosificación de 80 g/planta de NPK 12-24-12 se obtuvieron resultados significantes que muestran que se triplicó el incremento de altura y volumen en las plantas en comparación a las plantas que no fueron fertilizadas. Esto puede validar el comportamiento de la especie en esta investigación, ya que, la dosificación mayor obtuvo los mejores resultados, logrando un mejor crecimiento inicial de la especie en diámetro y altura total.

La diferencia entre los tratamientos de fertilización observados demuestra la importancia de la cantidad de dosificación aplicada en las especies forestales, esta requiere tomar en cuenta la deficiencia de nutrientes en el suelo debido a que es fundamental el conocimiento de ello para las formulaciones adecuadas. Las dosificaciones aplicadas con 60 g de NPK 12-24-12, tuvieron relación con el crecimiento, es decir, a mayor dosis mejor crecimiento de la plantación de *Gmelina arborea*. Según Fallas Zúñiga (2014) es recomendable escalar la fertilización por edad de la plantación para la mejora de crecimiento de los árboles. El uso de NPK 12-24-12 se debe a que son los elementos más necesarios en el suelo para que las plantas pueden crecer y generar frutos, como se observa en los resultados positivos de la investigación.

Segunda Fertilización: Fastrac 20-15-5

En el Cuadro 15, se muestran los resultados obtenidos en la segunda aplicación de fertilizante, donde se utilizó Fastrac 20-15-5. En esta fase se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las variables de altura total y diámetro entre los tratamientos. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que el mejor tratamiento de fertilización es F3 (60 g/planta), debido a que este presentó mejor crecimiento en diámetro y altura total en la planta. Por el contrario, mientras en la variable de altura de copa, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos F3 (60 g/planta) y F2 (45g/planta) ($p > 0.05$). Por consiguiente, con los resultados se puede inferir que el tratamiento de fertilización óptimo para la especie bajo las condiciones de Zamorano es el F3 (60 g/planta), al ser la altura de copa una variable no determinante en el crecimiento de la especie.

Cuadro 15

Resultados del tipo de sustrato: Estiércol y Aserrín para las variables de DAC, Altura total y Altura de copa utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano en la Fase 2 de toma de datos.

Fase 2 (segunda medición)					
260 días de edad					
Tratamiento	Fertilizante	g/planta	DAC (m m) ± D.E.	Altura total (cm) ± D.E.	Altura de copa (cm) ± D.E.
F3	FASTRAC 20-15-5	60	51.34 ± 28.27a	175.9 ± 38.09a	72.14 ± 21.3a
F2	FASTRAC 20-15-5	30	48.08 ± 24.63ab	164.99 ± 42.84b	66.92 ± 19.46a
F1	FASTRAC 20-15-5	45	41.78 ± 21.9b	164.06 ± 41.54b	66.8 ± 18.04a
F0	Control	0	50.14 ± 30.3a	156.89 ± 33.8b	58.2 ± 19.44b
CV%			47.99	15.64	25.32

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación.

La composición de un fertilizante es la cantidad de nutriente que contiene, las mezclas se logran a través de diferentes materiales que contienen los nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos. Por lo cual, según Suazo (2020) el fertilizante Fastrac es recomendado para plantaciones forestales, este es un fertilizante de liberación lenta, el tiempo de liberación de nutrientes es de 3 meses, lo cual evita deficiencias y mejora el aprovechamiento de los nutrientes. Por consiguiente, este fertilizante, se agregó durante la segunda etapa de aplicación a *Gmelina arbórea*, al pie de la planta y los gramos dependiendo de la dosificación por planta según el tratamiento. En esta investigación el tratamiento F3 (60 g/planta) resultó obtener un mejor crecimiento en comparación con los otros tratamientos.

La *Gmelina arbórea* se destaca por ser una especie de gran capacidad de adaptación en condiciones deficientes en el suelo. Sin embargo, pesar de que los requerimientos nutricionales de algunas especies forestales sean bajos, es necesario la aplicación de fertilizantes, que suministren al árbol joven las cantidades de nutrientes requeridos durante su época de mayor crecimiento y desarrollo. La fertilización interviene en la calidad de las plantas forestales (Vallejo et al., 2008). Esto puede corroborar los resultados obtenidos en esta investigación, donde se observó un mejor desarrollo en variables de crecimiento en el tratamiento con mayor dosis de fertilización (F3). Con

esto, se puede inferir que la *Gmelina arborea* responde positivamente a la fertilización, lo cual, para plantaciones destinadas a la comercialización de la madera es ideal.

De acuerdo con el estudio realizado por Indacochea Merchán (2016) se encontró que el tipo de fertilizante tuvo su efecto en el número de hojas, número de ramas y altura fue el que contenía mayor cantidad de nitrógeno activo (20 g nitrógeno). Esto puede validar los resultados obtenidos en la segunda medición, debido a que el fertilizante Fastrac al tener mayor disponibilidad de nitrógeno consiguió que la planta pudiera aprovechar la disponibilidad de nutrientes y aumentar su crecimiento en cuanto a diámetro y altura total.

Esto se puede evidenciar en el gráfico de comparación de medias de la variable Altura total en las dos fases del estudio (Figura 4). En el cual, los tratamientos presentan un incremento del 26.9% en la altura total para el tratamiento F3 (60 g/planta), 24% para el tratamiento F2 (45 g/planta), 24.3% para el tratamiento F1 (30 g/planta) y 24% para el tratamiento F0 (sin aplicación de fertilización). Con base en estos resultados se puede inferir, que el mejor tratamiento fue el F3 (60 g/planta), en el cual se presentó un mayor porcentaje de crecimiento en altura total el mismo período de tiempo.

De igual manera, en la Figura 5, se presentan los resultados de comparación de medias de la variable DAC en las dos fases del estudio. Con un incremento del 68% en el diámetro para el tratamiento F3 (60 g/planta), 66.6% para el tratamiento F2 (45 g/planta), 63.7% para el tratamiento F1 (30 g/planta) y 64.9% para el tratamiento F0 (control). Con base en estos resultados se puede inferir, que el mejor tratamiento fue el F3 (60 g/planta), en el cual se presentó un mayor porcentaje de crecimiento en diámetro en la plantación.

Figura 4

Gráfico de comparación de medias para la variable Altura total en la fase 1 y 2.

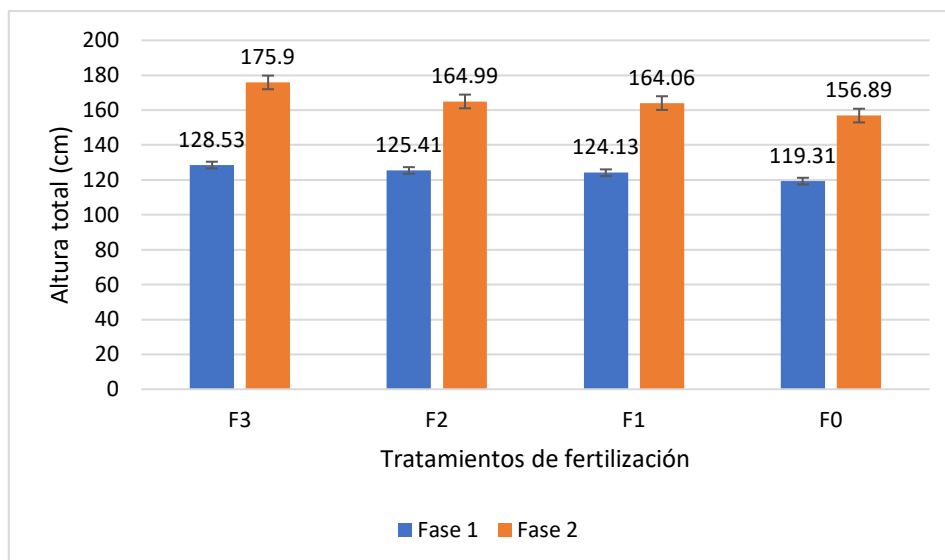
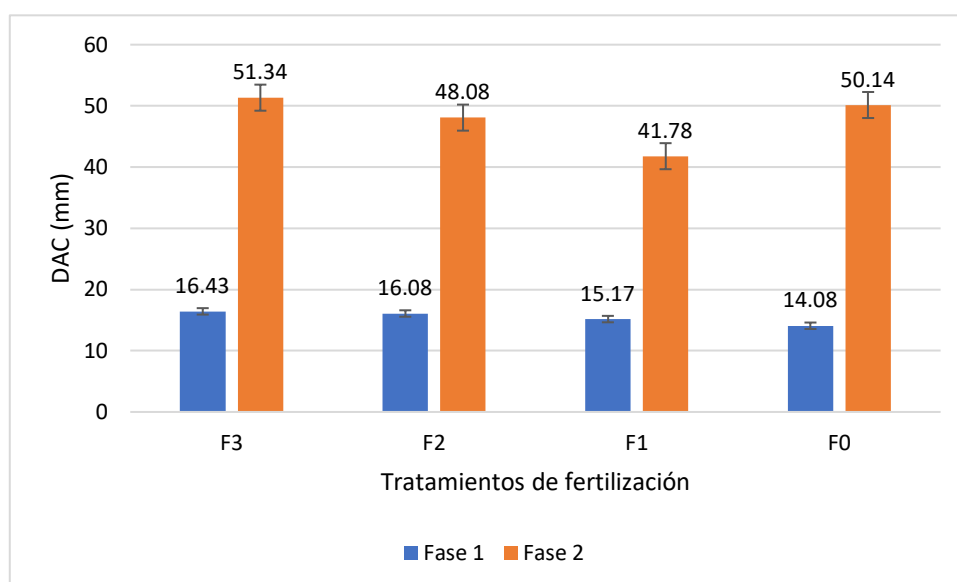


Figura 5

Gráfico de comparación de medias para la variable DAC en la fase 1 y 2.



Respuesta a la Interacción entre los Tratamientos de Suelo, Tipo de Sustrato y Tres Dosis de Fertilización en la Plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.

Con base en los resultados obtenidos sobre las variables de respuesta y que se muestran en el Cuadro 16, se observó la interacción en las variables medidas en los tratamientos, los cuales muestran encontrándose diferencia significativa entre ellos ($P < 0.05$). Los tratamientos de CAF1, CAF3 y CEF3, demostraron mayores valores en cuanto a diámetro. Mientras que, respecto a la variable de altura, se demostró que el tratamiento CEF3 obtuvo el mejor índice. Por lo que se puede inferir que, en la primera fase del estudio, el mejor tratamiento fue CEF3, debido a que demostró mayores resultados en cuanto a diámetro y altura.

Cuadro 16

Resultados de la interacción entre tipo de labranza de suelo, tipo de sustrato y dosis de fertilización para las variables de DAC y Altura total utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano

Fase 1 (primera medición)		
173 días de edad		
Tratamiento	DAC (mm) $\pm$ D.E.	Altura total (cm) $\pm$ D.E.
CAF0	17.03 $\pm$ 3.8 ^b	136.62 $\pm$ 16.46 ^c
CAF1	19.88 $\pm$ 4.6 ^a	147.27 $\pm$ 25.06 ^{bc}
CAF2	17.83 $\pm$ 4.6 ^{ab}	144.52 $\pm$ 20.18 ^{bc}
CAF3	19.84 $\pm$ 4.4 ^a	147.44 $\pm$ 19.39 ^{bc}
CEF0	18.05 $\pm$ 4.5 ^{ab}	154.69 $\pm$ 19.65 ^{ab}
CEF1	18.94 $\pm$ 3.8 ^{ab}	156.24 $\pm$ 15.16 ^{ab}
CEF2	19.29 $\pm$ 4.5 ^{ab}	156.42 $\pm$ 17.04 ^{ab}
CEF3	19.81 $\pm$ 4.5 ^a	162.29 $\pm$ 20.31 ^a
SAF0	10.89 $\pm$ 3.7 ^{de}	88.56 $\pm$ 22.11 ^e
SAF1	11.78 $\pm$ 3.5 ^{cde}	90.11 $\pm$ 22.19 ^e
SAF2	12.13 $\pm$ 3.5 ^{cde}	90.28 $\pm$ 18.31 ^e
SAF3	12.65 $\pm$ 4.1 ^{cde}	96.16 $\pm$ 29.98 ^{de}
SEF0	10.49 $\pm$ 3.6 ^e	97.38 $\pm$ 22.93 ^{de}
SEF1	13.6 $\pm$ 4 ^c	108.03 $\pm$ 26.36 ^d
SEF2	11.44 $\pm$ 3.5 ^{cde}	105.28 $\pm$ 24.9 ^d
SEF3	13.45 $\pm$ 2.8 ^{cd}	108.21 $\pm$ 29.98 ^d
CV%	23.85	15.51

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación. C: convencional. A: aserrín. S: subsoleo. E: estiércol. F0: control. F1: 30g/planta de NPK 12-24-12. F2: 45g/planta de NPK 12-24-12. F3: 60g/planta de NPK 12-24-12.

En el Cuadro 17, se muestran los resultados obtenidos en la segunda fase. Como se muestra, existió diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$). En el cual, los tratamientos CEF3, SEF0, SEF2, obtuvieron mayores medias para el diámetro. Mientras que para la variable altura total, el tratamiento CEF3 obtuvo los mayores datos de crecimiento. Respecto a la altura de copa, los tratamientos que demostraron mayores resultados CAF1, CAF3, CEF3. Por lo cual se puede inferir que el tratamiento que obtuvo resultados óptimos en las tres variables es el CEF3, concordando con los resultados de la primera fase.

Cuadro 17

Resultados de la interacción entre tipo de labranza de suelo, tipo de sustrato y dosis de fertilización para las variables de DAC, Altura total y Altura de copa utilizados para la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.

Fase 2 (segunda medición)			
260 días de edad			
Tratamiento	DAC (mm) $\pm$ D.E.	Altura total (cm) $\pm$ D.E.	Altura de copa (cm) $\pm$ D.E.
CAF0	43.74 $\pm$ 6.9 ^{abc}	173.28 $\pm$ 31.4 ^c	66.2 $\pm$ 14.5 ^{bcd}
CAF1	37.04 $\pm$ 7.3 ^c	188.81 $\pm$ 37.63 ^{bc}	78.93 $\pm$ 15.5 ^a
CAF2	42.92 $\pm$ 6.4 ^{abc}	192.06 $\pm$ 30.5 ^b	77.23 $\pm$ 21.4 ^{ab}
CAF3	39.18 $\pm$ 8.1 ^{bc}	193.33 $\pm$ 24.3 ^b	78.07 $\pm$ 18.1 ^a
CEF0	50.85 $\pm$ 27.7 ^{abc}	191.85 $\pm$ 24.5 ^b	63.55 $\pm$ 26.8 ^{cd}
CEF1	40.82 $\pm$ 30.2 ^{abc}	190.67 $\pm$ 31.1 ^{bc}	68.03 $\pm$ 17.7 ^{abc}
CEF2	47.55 $\pm$ 28.5 ^{abc}	189.27 $\pm$ 26.9 ^{bc}	69.98 $\pm$ 16.5 ^{abc}
CEF3	57.82 $\pm$ 7.3 ^a	209.82 $\pm$ 24.4 ^a	79.58 $\pm$ 19.7 ^a
SAF0	48 $\pm$ 21.1 ^{abc}	131.96 $\pm$ 27.1 ^e	55.02 $\pm$ 15.6 ^{de}
SAF1	37.97 $\pm$ 16.8 ^{bc}	130.78 $\pm$ 33.7 ^e	59.49 $\pm$ 19.1 ^{cd}
SAF2	44.7 $\pm$ 19.7 ^{abc}	129.38 $\pm$ 42.3 ^e	61.44 $\pm$ 16.7 ^{cd}
SAF3	54.97 $\pm$ 33.5 ^{ab}	149.93 $\pm$ 26.92 ^d	71.04 $\pm$ 15.59 ^{abc}
SEF0	57.97 $\pm$ 42.6 ^a	130.46 $\pm$ 18.1 ^e	48.02 $\pm$ 12.1 ^e
SEF1	51.28 $\pm$ 6.01 ^{abc}	145.98 $\pm$ 18.1 ^{de}	60.75 $\pm$ 16.1 ^{cd}
SEF2	57.15 $\pm$ 32.49 ^a	149.23 $\pm$ 18.1 ^d	59.05 $\pm$ 14.6 ^{cd}
SEF3	53.41 $\pm$ 27.7 ^{abc}	150.51 $\pm$ 27.8 ^d	59.89 $\pm$ 21.4 ^{cd}
CV%	47.99	15.64	25.32

Nota: DAC: diámetro a la altura de cuello o base. D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación. C: convencional. A: aserrín. S: subsuelo. E: estiércol. F0: control. F1: 30g/planta de Fastrac 20-15-5. F2: 45g/planta de Fastrac 20-15-5. F3: 60g/planta de Fastrac 20-15-5.

Como se observa en el Cuadro 15 y Cuadro 16, los tratamientos con mejores índices a 173 días y 260 días de edad fueron obtenidos en parcelas con tratamientos convencionales de suelo, es decir,

aquellos cuyo método para plantar la especie a campo fueron realizados por medio de ahoyado. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Alvarado (2014), donde destaca que se pueden encontrar cambios significativos de alturas en árboles en terrenos con labranza 24 meses después de la actividad. Esto se asocia a el tiempo necesario para una recuperación de la microfauna liberadora de los nutrientes en el suelo, cuyas poblaciones se pueden ver mermadas por los cambios físicos y la cantidad de biomasa radicular viva. Lo cual brinda indicios de lo sucedido en la plantación de *G. arbórea* en Zamorano. Adicionalmente, para poder evaluar la efectividad del tratamiento del suelo con subsoleo se recomienda evaluar la respuesta de este en períodos más prolongados de tiempo.

Asimismo, Donoso et al. (2015) hace énfasis que, durante la etapa de establecimiento, las limitaciones nutricionales del suelo pueden ser causa de insuficiente crecimiento y de predisposición a daños bióticos y abióticos para las plantas objetivo. A lo cual se le pueden vincular los resultados obtenidos a través de análisis de las dosis de fertilización, donde, la mejor respuesta en el crecimiento es la de dosis de 60 g/planta (F3) en las dos fases, donde se demostró que una adecuada nutrición de las plantas contribuye a su apropiado establecimiento en el sitio de plantación y su posterior crecimiento.

Adicionalmente, el sustrato que presentó una mejor respuesta en altura total y diámetro en ambas fases, es el sustrato a base de estiércol, lo que concuerda con los resultados obtenidos en la evaluación de estos tratamientos previamente, lo cual se puede atribuir a la disponibilidad de materia orgánica disponible para la planta, obteniendo resultados similares a la investigación de Prieto R. y Sáenz R. (2011), a nivel de plantación.

Porcentaje de Supervivencia en la Plantación de *Gmelina arbórea* en Zamorano

En el Cuadro 18, se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza para la evaluación de supervivencia de la plantación de *Gmelina arbórea* en Zamorano, 173 días de edad. Los resultados no muestran diferencia significativa entre los 16 tratamientos ($P>0.05$). En donde todos los tratamientos obtuvieron una categorización de porcentaje de supervivencia muy bueno, con

porcentajes de sobrevivencia de 80 a 100%, categorizado como muy bueno, por lo que se puede inferir que en ese periodo la especie se adaptó a las condiciones agrológicas de la zona de Zamorano.

Cuadro 18

Porcentaje de sobrevivencia en la Fase 1, a los 173 días de edad de la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.

Fase 1 (primera medición)		
173 días de edad		
Tratamiento	% de sobrevivencia $\pm$ D.E.	Categoría
CAF2	100 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CAF3	96.55 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SAF0	96.55 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CAF0	96.55 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CAF1	96.55 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SAF2	93.35 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SEF2	93.1 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SEF3	93.1 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CEF3	93.1 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SAF3	90.3 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SEF0	90.3 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CEF1	86.85 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CEF0	86.85 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SAF1	86.85 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CEF2	86.85 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SEF1	84.05 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CV%	8.29	

Nota: D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación. C: convencional. A: aserrín. S: subsoleo. E: estiércol. F0: control. F1: 30g/planta

de NPK 12-24-12. F2: 45g/planta de NPK 12-24-12. F3: 60g/planta de NPK 12-24-12.

En el Cuadro 19, se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza para el porcentaje de sobrevivencia de la plantación de *Gmelina arbórea*, con 260 días de edad. Estos muestran que no hay diferencias significativas entre los 16 tratamientos ($P>0.05$). Según (López, 2015) solamente los tratamientos CEF0 y SAF1 obtuvieron una categorización de porcentaje de sobrevivencia de bueno. Los demás tratamientos se ubican en la categoría de muy bueno. A pesar de que, en esta fase, dos de los tratamientos fueron categorizados con un porcentaje de sobrevivencia bueno, no existe una diferencia significativa ($P>0.05$) que indique que la especie no se pudo adaptar

a las condiciones de Zamorano en los primeros 260 días de plantada. Complete esta segunda línea o súbalo todo.

Cuadro 19

Porcentaje de sobrevivencia en la Fase 2, a los 260 días de edad de la plantación de Gmelina arbórea en Zamorano.

Fase 2 (segunda medición)		
260 días de edad		
Tratamiento	% de sobrevivencia $\pm$ D.E.	Categoría
CAF2	100 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CAF3	96.55 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CAF0	96.55 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CAF1	96.55 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SAF2	93.35 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SEF3	93.1 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SAF0	90.3 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SEF0	87.5 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SEF2	86.85 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CEF3	86.85 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SAF3	84.85 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
SEF1	84.05 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CEF1	81.4 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CEF2	80.6 $\pm$ 0 ^a	Muy bueno
CEF0	78.9 $\pm$ 0 ^a	Bueno
SAF1	74.35 $\pm$ 0 ^a	Bueno
CV%	14.91	

Nota: D.E.: desviación estándar. CV: coeficiente de variación C: convencional. A: aserrín. S: subsoleo. E: estiércol. F0: control. F1: 30g/planta de Fastrac 20-15-5. F2: 45g/planta de Fastrac 20-15-5. F3: 60g/planta de Fastrac 20-15-5.

En general, los resultados obtenidos correspondientes al porcentaje de sobrevivencia en ambas fases fueron muy bueno, esto se atribuye a la gran capacidad de adaptación que posee la *G. arbórea*. En relación a esto, (Escárpita, 1978) evaluó a *Gmelina arbórea* a los cuatro años y ocho meses de edad en Benito Juárez, Tuxtepec, Oaxaca donde, en ese momento, la especie tuvo un porcentaje de sobrevivencia del 95%. Complete la segunda línea o suba todo

Asimismo, en la investigación realizada por Rubio-Camacho et al. (2011), se evaluó la supervivencia y el crecimiento de cinco plantaciones de *Tectona grandis* y seis de *Gmelina arbórea*

con edades de 1 a 9 años, en Sautá, Nayarit, México. En esta se evaluaron datos dasométricos con la finalidad de conocer la supervivencia, diámetros, alturas, copas y vigores del arbolado de todas las plantaciones más jóvenes. Se obtuvieron resultados de porcentaje de supervivencia para *Gmelina arborea* la entre el 79% a un 93%, datos similares a los obtenidos en la presente investigación.

De acuerdo con un estudio realizado por Florez Orjuela J. y Florez Orjuela O. (2013), ubicado en Colombia, se demostró la gran capacidad de adaptación de la *G. arborea*, en donde la supervivencia de las plantaciones establecidas en general fue buena con rangos que van del 72 al 83%, en relación con la densidad con la que se sembraron de 1,600 árboles. En sus conclusiones Flores recalca que la *Gmelina arborea* es una especie muy resiliente y se adapta muy bien a las condiciones de la región. Esto nos indica que, a pesar de que la especie sea originaria del sureste asiático, se adapta muy bien a las condiciones de bosque tropical en Centroamérica.

Conclusiones

El tipo de labranza de suelo que mostró un crecimiento mayor en cuanto a altura total, altura de copa y diámetro (DAC) a los 260 días de establecida la plantación fue la labranza convencional, esto se puede atribuir al tiempo en el cual se evaluó la investigación, ya que para poder determinar la efectividad de la labranza en el suelo se debe tomar períodos más prolongados de evaluación.

La dosis de fertilización que presentó los valores superiores correspondientes a la altura total, altura de copa y diámetro (DAC) fue la de 60 g/planta (tratamiento de fertilización F3), siendo la dosis más alta, lo cual indica que la especie responde efectivamente ante mayores dosis aplicadas.

El tipo de sustrato utilizado en vivero que resultó en valores superiores en crecimiento de altura total, altura de copa a nivel de plantación, fue el sustrato con una formulación de 25% de estiércol, 25% arena y 50% de suelo base enriquecido en materia orgánica, lo cual se vincula a la cantidad de nitrógeno y materia orgánica que el sustrato a base de estiércol hace disponible para la planta.

El tratamiento CEF3, con ahoyado convencional de suelo, sustrato a base de estiércol y dosis de fertilización de 60 g/planta (F3) obtuvo la mejor respuesta en las variables de crecimiento de altura total, altura de copa y diámetro (DAC) a 260 días de edad de la plantación, lo cual implica que la especie responde de mejor manera a mayores dosis de fertilización.

El porcentaje de sobrevivencia de todos los tratamientos en estudio la plantación de *Gmelina arborea* fue entre 80 y 100%, la cual se categoriza como muy buena, en los primeros 260 días de edad.

Recomendaciones

Para evaluar la efectividad y respuesta de la *Gmelina arborea* respecto a la mecanización del suelo con subsoleo, se recomienda períodos más largos (al menos los primeros 3 años) entre toma de datos que permita la estabilización de las condiciones del suelo y la funcionalidad de este tratamiento en la retención de humedad. Esto se puede lograr mediante dos investigaciones de pregrado consecutivas en las que se incluyan un análisis completo de precipitación y la adición con cultivos de cobertura como la canavalia y mucuna.

Realizar un estudio del comportamiento de la *Gmelina arborea* a nivel de vivero, donde se pueda evaluar a detalle la respuesta de la especie ante los tipos de sustratos utilizados en esta investigación, agregando varios sustratos con diferentes proporciones que contenga estiércol bovino y aserrín.

Realizar un análisis de factibilidad que contemple la inversión realizada desde la producción de vivero hasta el establecimiento de la plantación y costos de mantenimiento, reportados en este estudio.

Referencias

- Agus, C., Karyanto, O., Kita, S., Haibara, K., Toda, H., Hardiwinoto, S., Supriyo, H., Na'iem, M., Wardana, W., Sipayung, M. S. y Wijoyo, S. (2004). Sustainable site productivity and nutrient management in a short rotation plantation of *Gmelina arborea* in East Kalimantan, Indonesia. *New Forests*, 28(2/3), 277–285. <https://doi.org/10.1023/B:NEFO.0000040954.27630.2f>
- Alfaro, M. M. y Camino, R. V. de (2002). Melina (*Gmelina arborea*) in Central America. *AGRIS*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016039440>
- Alvarado, A. (2014). Plant Nutrition in Tropical Forestry. En L. Pancel y M. Köhl (Eds.), *Tropical Forestry Handbook* (Vol. 5, pp. 1–91). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8_105-2
- Álvaro Vallejo y Zapata, F. (2018). *Gmelina arborea* Roxb. *Directorio Forestal Maderero*. <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/melina.html>
- Castillo-Gallegos, E., Jarillo-Rodríguez, J. y Escobar-Hernández, R. (2017). Diameter-height relationships in three species grown together in a commercial forest plantation in eastern tropical Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 24(1), 33–48. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.05.033>
- Claverán Alonso, R. y Rulfo Vilchis, F. (2001). Manual para la labranza de conservación. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/714.pdf>
- Clemens, G., Fiedler, S., Cong, N. D., van Dung, N., Schuler, U. y Stahr, K. (2010). Soil fertility affected by land use history, relief position, and parent material under a tropical climate in NW-Vietnam. *CATENA*, 81(2), 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.006>
- Donoso, P., Navarro, C., Soto, D., Gerding, V., Thiers, O., Pinares, J., Escobar, B. y Sanhueza, M. (2015). *Manual de plantaciones de raulí (Nothofagus alpina) y coihue (Nothofagus dombeyi) en Chile: Fertilización de plantaciones forestales de especies nativas*. Universidad Austral de Chile – Universidad Católica de Temuco. https://www.researchgate.net/publication/288831746_Fertilizacion_de_plantaciones_forestales_de_especies_nativas
- Dvorak, W. S. (2004). World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. *New Forests*, 28(2/3), 111–126. <https://doi.org/10.1023/B:NEFO.0000040940.32574.22>
- Escárpita, H. C. E. (1978). *Memoria de la I Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales.: Aspectos generales de las plantaciones comerciales de La Sabana, en el estado de Oaxaca*. 424–439 p
- Espinoza, A. y Mendoza, R. B. (2017). Guía Técnica para Muestreo de Suelos. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Fallas Zúñiga, J. L. (2014). *Respuesta a la fertilización de la teca (Tectona grandis L.f) con NPK en Ultisoles de la Zona Norte de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica [Tesis de graduación]*. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3286/respuesta_fertilizaci%C3%B3n_teca_ultisoles.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Florez Orjuela, J. A. y Florez Orjuela, O. R. (2013). *Estudio del crecimiento de “Gmelina arborea” en los consejos comunitarios de Quiparadó y Domingodó (Chocó – Colombia), Colombia*.

https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/419/402_Florez_Orjuela_Jhon_Alexander_2013.pdf?sequence=1

- Gil, J. G. (2017). Nursery stage development of *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm subjected to three doses of fertilization and two substrates. *Research Gate*(38), 47–52. https://www.researchgate.net/publication/319058519_Nursery_stage_development_of_Gmelina_arborea_Roxb_ex_Sm_subjected_to_three_doses_of_fertilization_and_two_substrates
- González-Rojas, M., Murillo-Cruz, R. y Ávila-Arias, C. (2016). Crecimiento inicial de *Gmelina arborea* Roxb. aplicando diferentes tratamientos de fertilización en el Pacífico Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana KURÚ*, 13(33), 29. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v13i33.2575>
- Hernández C., E. (2020). *Actualización de la evaluación de la aptitud de los suelos de uso agrícola de Zamorano y su mapeo con sistemas de información geográfica* [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano., Honduras. <http://hdl.handle.net/11036/6888>
- Iglesias Martínez, L. (DL 1995). *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Hojas divulgadoras: n. 1/94*. Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario.
- Indacochea Merchán, C. (2016). *Efecto de dos niveles de fertilización nitrogenada en el desarrollo inicial de Cordia Alliodora r. & p. oken (laurel) en el Cantón Jipijapa año 2016. Propuesta de difusión tecnológica* [Tesis de Posgrado]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1674>
- Jayasinghe, G. Y., Arachchi, I. L. y Tokashiki, Y. (2010). Evaluation of containerized substrates developed from cattle manure compost and synthetic aggregates for ornamental plant production as a peat alternative. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1412–1418. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.06.002>
- Kane, M. E. y Mcconnell, D. B. (1992). N-P-K Fertilization for potted pickerelweed, 221–224. <https://journals.flvc.org/fshs/article/download/92876/89066/0>
- Linares, E. (2005). *Instructivo para determinar la supervivencia en plantaciones forestales*. MINAG. (Instrucción Técnica 6)
- López Barreto, C. A. (2015). *Evaluación de sobrevivencia e incremento de seis especies forestales maderables en plantaciones de la finca Eco forestal, San Juan del Sur, Rivas* [Trabajo de Graduación]. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/3240/1/tnk10l864v.pdf>
- Mapa, R. B. (1995). Effect of reforestation using *Tectona grandis* on infiltration and soil water retention. *Forest Ecology and Management*, 77(1-3), 119–125. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03573-S](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03573-S)
- Murillo, O. y Valerio, J. (1991). *Melina: Gmelina arborea Roxb., especie de árbol de uso múltiple en América Central* (181). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica Proyecto Cultivo de Arboles de Uso Múltiple, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11648>
- La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>

- Ortega-Torres, A. E., Flores Tejeida, L. B., Guevara-González, R. G., Rico-García, E. y Soto-Zarazúa, G. M. (2020). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1447–1455. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2222>
- Prieto R y Sáenz R. (2011). *Indicadores de calidad de planta en viveros forestales de la Sierra Madre Occidental*. Campo Experimental Valle del Guadiana. *Libro Técnico*. Durango, Dgo., México.
- Ramírez Rodas, E. R. (2018). *Evaluación de dos lixiviados y cuatro sustratos en la producción de Gmelina arborea (melina) en el vivero municipal de santo domingo de los Tsáchilas* [Tesis]. Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
- Reyes Reyes, J., La Pimienta de Torre, D. d. J., Rodríguez Morales, J. A., Fuentes Pérez, M. A. y Palomeque Figueroa, E. (2018). Calidad de planta de Gmelina arborea Roxb. producida con diferentes mezclas de sustratos en vivero. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(47), 111–130. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.163>
- Rojas Rodríguez, F., Arias Aguilar, D., Moya Roque, R., Meza Montoya, A., Murillo Gamboa, O. y Arguedas, M. (2004). Manual para productores de Melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. <http://www.fonafifo.go.cr/media/1334/manual-para-productores-de-melina.pdf>
- Rubio-Camacho, E., Benavides-Solorio, J. y Rueda-Sánchez, A. (Eds.) (2011). *"Bosque para las personas": Supervivencia y crecimiento de plantaciones de Teca y Melina en Nayarit*. https://pure.au.dk/ws/files/41988838/20110330_Programa_Congreso_copy.pdf
- Sampayo Maldonado, S., Silva Serna, M. M. y García Rodríguez, J. C. (2011). Establecimiento de plantaciones comerciales de melina. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/893.pdf>
- Suazo, C. M. (2020). *Evaluación de ocho sustratos para la producción de plántulas de Pinus oocarpa en tubetes*, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras [Proyecto especial de graduación]. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/items/7c66b91d-4627-4a97-a772-1c1889407ceb>
- Thiers O, Reyes J, Gerding V y Schlatter J. (2014). *Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*. Universidad Austral de Chile – Universidad Católica de Temuco.
- Trejo Escareño, H. I., Salazar Sosa, E., López Martínez, J. D. y Vázquez Vázquez, C. (2013). Impact of cow manure in soil, forest plantations and corn forage production. *Scielo*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000500006&script=sci_arttext
- Vallejo, Margarita, M., Bonilla, C., Carmen, R. y Castilla, L. A. (2008). Evaluación de la asociación bacterias fijadoras de nitrógeno - líneas interespecíficas de arroz-nitrógeno, en Typic haplustalf. Ibagué, Colombia. *Acta Agronómica*, 57(1), 47–49. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122008000100006&lng=en&tlng=es
- Valverde, J. C., Guevara-Bonilla, M., Arias, D., Briceño, E. y Esquivel, E. (2017). Efectos de las actividades de labranza en el índice de área foliar en una plantación de Tectona grandis en la zona norte de Costa Rica. *Madera Y Bosques*, 23(2), 7–19. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.232498>
- Varela, S. A. y Basil, J. G. (2011). *Silvicultura en vivero: Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales*. EEA Bariloche, INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/11395>

Villacis, J. (2019). *Evaluación de la germinación y crecimiento de Teca (Tectona grandis) de cuatro fuentes semilleras* [Proyecto especial de Graduación]. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana., Honduras. <http://hdl.handle.net/11036/6593>

Anexos

Anexo A

Costos variables de la plantación de Gmelina arbórea en Zona 1, Zamorano.

Costos variables de producción en vivero			
Tratamiento	Descripción	Costo por planta (Lps)	Costo por ha (Lps)
Estiércol	50% suelo base, 25% arena fina, 25% de estiércol de vaca	L11.20	L7,000.00
Aserrín	50% suelo base, 25% arena fina, 25% de aserrín	L11.20	L7,000.00

Nota: Tasa de cambio del Banco Central de Honduras (Lps. 24.5587), consultado el 20/6/2022. Costos de mano de obra están incluidos.

Costos variables de tipo de labranza de suelo			
Tratamiento	Descripción	Costo por planta (Lps)	Costo por ha (Lps)
Convencional	Ahoyado a 45 cm de profundidad	L2.65	L1,656.25
Subsileo	Arado de cincel a 80 cm de profundidad	L6.76	L4,225.00

Nota: Tasa de cambio del Banco Central de Honduras (Lps. 24.5587), consultado el 20/6/2022. Costos de mano de obra están incluidos.

Costos variables de fertilización en la Fase 1 y Fase 2					
Fase 1 (primera aplicación)					
Tratamiento	Dosis	Fertilizante	Costo por g (Lps)	Costo por planta (Lps)	Costo por ha (Lps)
F1	30 g/planta	NPK 12-24-12	L0.02	L0.76	L475.00
F2	45 g/planta	NPK 12-24-12	L0.02	L1.15	L718.75
F3	60 g/planta	NPK 12-24-12	L0.02	L1.53	L956.25
Fase 2 (segunda aplicación)					
F1	30 g/planta	Fastrac 20-15-5	L0.03	L1.05	L653.75
F2	45 g/planta	Fastrac 20-15-5	L0.03	L1.56	L975.00
F3	60 g/planta	Fastrac 20-15-5	L0.03	L2.09	L1,306.25

Nota: Tasa de cambio del Banco Central de Honduras (Lps. 24.5587), consultado el 20/6/2022. Costos de mano de obra están incluidos.

Costos variables de la combinación de tratamientos utilizados en la Fase 1		
Fase 1		
Tratamiento	Costo por planta (Lps)	Costo por ha (Lps)
CAF0	L13.85	L8,656.25
CAF1	L14.61	L9,131.25
CAF2	L15.00	L9,375.00
CAF3	L15.38	L9,612.50
CEF0	L13.85	L8,656.25
CEF1	L14.61	L9,131.25
CEF2	L15.00	L9,375.00
CEF3	L15.38	L9,612.50
SAF0	L17.96	L11,225.00
SAF1	L18.72	L11,700.00
SAF2	L19.11	L11,943.75
SAF3	L19.49	L12,181.25
SEF0	L17.96	L11,225.00
SEF1	L18.72	L11,700.00
SEF2	L19.11	L11,943.75
SEF3	L19.49	L12,181.25

Nota: Tasa de cambio del Banco Central de Honduras (Lps. 24.5587), consultado el 20/6/2022. C: convencional. A: aserrín. S: subsoleo. E: estiércol. F0: control. F1: 30g/planta de NPK 12-24-12. F2: 45g/planta de NPK 12-24-12. F3: 60g/planta de NPK 12-24-12. Costos de mano de obra están incluidos.

Costos variables de la combinación de tratamientos utilizados en la Fase 2		
Fase 2		
Tratamiento	Costo por planta (Lps)	Costo por ha (Lps)
CAF0	L13.85	L8,656.25
CAF1	L14.90	L9,310.00
CAF2	L15.41	L9,631.25
CAF3	L15.94	L9,962.50
CEF0	L13.85	L8,656.25
CEF1	L14.90	L9,310.00
CEF2	L15.41	L9,631.25
CEF3	L15.94	L9,962.50
SAF0	L17.96	L11,225.00
SAF1	L19.01	L11,878.75
SAF2	L19.52	L12,200.00
SAF3	L20.05	L12,531.25
SEF0	L17.96	L11,225.00
SEF1	L19.01	L11,878.75
SEF2	L19.52	L12,200.00
SEF3	L20.05	L12,531.25

Nota: Tasa de cambio del Banco Central de Honduras (Lps. 24.5587), consultado el 20/6/2022. C: convencional. A: aserrín. S: subsoleo. E: estiércol. F0: control. F1: 30g/planta de Fastrac 20-15-5. F2: 45g/planta de Fastrac 20-15-5. F3: 60g/planta de Fastrac 20-15-5. Costos de mano de obra están incluidos.

Costos variables por mantenimiento			
Descripción	Frecuencia	Costo por planta (Lps)	Costo por ha (Lps)
Limpieza y desmalezado	2	16	10000
Podas	2	1.92	1200

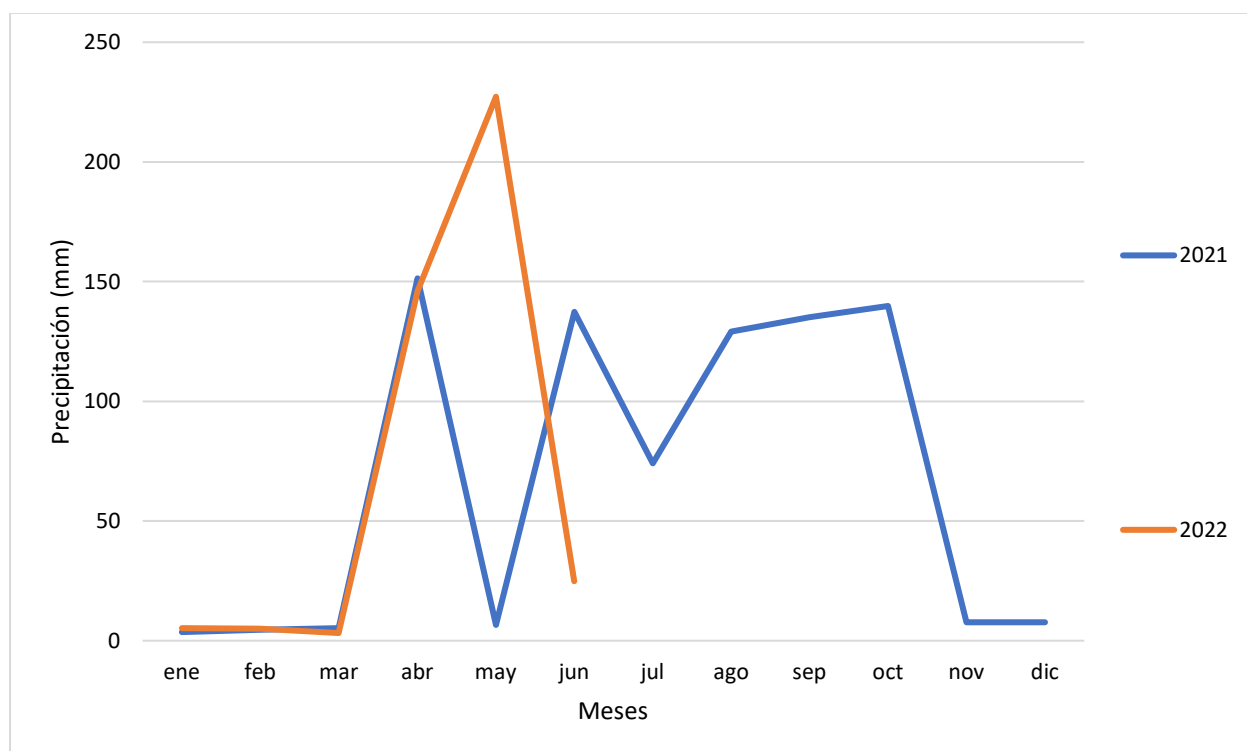
Nota: Tasa de cambio del Banco Central de Honduras (Lps. 24.5587), consultado el 20/6/2022. Costos de mano de obra están incluidos.

Costos totales de la plantación		
Fase 1 y Fase 2		
Tratamiento	Costo por planta (Lps)	Costo por ha (Lps)
CAF0	L31.77	L19,856.25
CAF1	L33.58	L20,985.00
CAF2	L34.48	L21,550.00
CAF3	L35.39	L22,118.75
CEF0	L31.77	L19,856.25
CEF1	L33.58	L20,985.00
CEF2	L34.48	L21,550.00
CEF3	L35.39	L22,118.75
SAF0	L35.88	L22,425.00
SAF1	L37.69	L23,553.75
SAF2	L38.59	L24,118.75
SAF3	L39.50	L24,687.50
SEF0	L35.88	L22,425.00
SEF1	L37.69	L23,553.75
SEF2	L38.59	L24,118.75
SEF3	L39.50	L24,687.50

Nota: Tasa de cambio del Banco Central de Honduras (Lps. 24.5587), consultado el 20/6/2022. Costos de mano de obra están incluidos.

Anexo B

Gráfico de precipitación mensual acumulada en Zamorano en el año 2021 y 2022.



Anexo C

Resultados de análisis estadísticos fase 1 y fase 2

Análisis de la varianza

FASE 1

Promedio DAC (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Promedio DAC (mm)	64	0.71	0.66	18.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1003.35	9	111.48	14.44	<0.0001
Bloque	197.58	1	197.58	25.58	<0.0001
Tratamiento de suelo	734.21	1	734.21	95.07	<0.0001
Tipo de sustrato	2.41	1	2.41	0.31	0.5790
Tratamiento	53.21	3	17.74	2.30	0.0880
Tratamiento de suelo*Tipo ..	15.95	3	5.32	0.69	0.5632
Error	417.04	54	7.72		
Total	1420.39	63			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 7.7230 gl: 54

Tratamiento de suelo	Medias	n	E.E.
Convenci	18.83	32	0.29 A
Subsoleo	12.05	32	0.29 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 7.7230 gl: 54

Tipo de sustrato	Medias	n	E.E.
E	15.63	32	0.29 A
A	15.25	32	0.29 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 7.7230 gl: 54

Tratamiento	Medias	n	E.E.
F3	16.44	16	0.41 A
F1	16.08	16	0.41 A B
F2	15.17	16	0.41 B C
F0	14.08	16	0.41 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 7.7230 gl: 54

Tratamiento	de	suelo	Tipo	de	sustrato	Tratamiento	Medias
n	E.E.						
Convenci		A		F1		19.99 4 0.62	
A							
Convenci		A		F3		19.84 4 0.62	
A							
Convenci		E		F3		19.81 4 0.62	
A							
Convenci		E		F2		19.29 4 0.62	
A B							
Convenci		E		F1		18.94 4 0.62	
A B							
Convenci		E		F0		18.05 4 0.62	
A B							
Convenci		A		F2		17.83 4 0.62	
A B							
Convenci		A		F0		16.88 4	
0.62 B							
Subsoleo		E		F1		13.60 4	
0.62 C							
Subsoleo		E		F3		13.45 4	
0.62 C D							
Subsoleo		A		F3		12.65 4	
0.62 C D E							
Subsoleo		A		F2		12.13 4	
0.62 C D E							
Subsoleo		A		F1		11.78 4	
0.62 C D E							
Subsoleo		E		F2		11.44 4	
0.62 C D E							
Subsoleo		A		F0		10.89 4	
0.62 D E							
Subsoleo		E		F0		10.49 4	
0.62 E							

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Promedio AT

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Promedio AT	64	0.84	0.82	11.10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		54782.22	9	6086.91	31.97	<0.0001
Bloque		6585.32	1	6585.32	34.59	<0.0001
Tratamiento de suelo		44415.56	1	44415.56	233.28	<0.0001
Tipo de sustrato		2894.44	1	2894.44	15.20	0.0003
Tratamiento		703.78	3	234.59	1.23	0.3070
Tratamiento de suelo*Tipo ..		183.12	3	61.04	0.32	0.8104
Error		10281.58	54	190.40		
Total		65063.80	63			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 190.3995 gl: 54

Tratamiento de suelo	Medias	n	E.E.
Convenci	150.69	32	2.44 A
Subsoleo	98.00	32	2.44 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05*Error: 190.3995 gl: 54*

Tipo de sustrato Medias n E.E.

E 131.07 32 2.44 A

A 117.62 32 2.44 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***Test:Duncan Alfa=0.05***Error: 190.3995 gl: 54*

Tratamiento Medias n E.E.

F3 128.53 16 3.45 A

F1 120.41 16 3.45 B

F2 120.13 16 3.45 B

F0 119.31 16 3.45 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***Test:Duncan Alfa=0.05***Error: 190.3995 gl: 54*

Tratamiento de suelo Tipo de sustrato Tratamiento Medias n E.E.

Convenci E F3 162.29 4 5.17 A

Convenci E F2 156.42 4 5.17 A B

Convenci E F1 156.24 4 5.17 A B

Convenci E F0 154.69 4 5.17 A B

Convenci A F3 147.44 4 5.17 A B

Convenci A F1 147.27 4 5.17 A B

Convenci A F2 144.52 4 5.17 A B

Convenci A F0 136.62 4 5.17 B

Subsoleo E F3 108.21 4 5.17 C

Subsoleo E F1 108.03 4 5.17 C

Subsoleo E F2 105.28 4 5.17 C

Subsoleo E F0 97.38 4 5.17 C

Subsoleo A F3 96.16 4 5.17 C

Subsoleo A F2 90.28 4 5.17 C

Subsoleo A F1 90.11 4 5.17 C

Subsoleo A F0 88.56 4 5.17 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

FASE 2

Nueva tabla_1 : 20/7/2022 - 12:36:52 p. m. - [Versión : 30/4/2020]

Análisis de la varianza

Promedio DAC (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Promedio DAC (mm)	64	0.37	0.26	42.94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13160.10	9	1462.23	3.47	0.0019
Bloque	10035.93	1	10035.93	23.78	<0.0001
Tratamiento de suelo	518.50	1	518.50	1.23	0.2726
Tipo de sustrato	1167.55	1	1167.55	2.77	0.1020
Tratamiento	870.13	3	290.04	0.69	0.5637
Tratamiento de suelo*Tipo ..	567.99	3	189.33	0.45	0.7193
Error	22787.0	54	421.98		
Total	35947.10	63			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 421.9815 gl: 54

Tratamiento de suelo Medias n E.E.

Subsoleo	55.57	32	3.63	A
Convenci	44.99	32	3.63	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 421.9815 gl: 54

Tipo de sustrato Medias n E.E.

E	60.40	32	3.63	A
A	41.37	32	3.63	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 421.9815 gl: 54

Tratamiento Medias n E.E.

F3	51.34	16	5.14	A
F0	40.14	16	5.14	A
F2	38.08	16	5.14	A B
F1	31.78	16	5.14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 421.9815 gl: 54

Tratamiento de suelo Tipo de sustrato Tratamiento Medias n E.E.

Convenci	E	F3	57.97	4	7.70	A
Subsoleo	E	F0	50.82	4	7.70	A B
Subsoleo	E	F2	50.15	4	7.70	A B
Subsoleo	A	F3	49.97	4	7.70	A B
Subsoleo	E	F3	43.41	4	7.70	A B
Subsoleo	E	F1	41.28	4	7.70	A B
Convenci	E	F0	40.85	4	7.70	A B
Subsoleo	A	F0	38.00	4	7.70	A B
Convenci	E	F2	37.55	4	7.70	B
Subsoleo	A	F2	34.70	4	7.70	B

Convenci	A	F0	33.74	4	7.70	B
Convenci	A	F2	32.92	4	7.70	C
Convenci	E	F1	30.82	4	7.70	C
Convenci	A	F3	29.18	4	7.70	C
Subsoleo	A	F1	27.97	4	7.70	C
Convenci	A	F1	27.04	4	7.70	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Promedio AT (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Promedio AT (mm)	64	0.82	0.79	9.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		59968.88	9	6663.21	26.59	<0.0001
Bloque		12304.36	1	12304.36	49.11	<0.0001
Tratamiento de suelo		42199.43	1	42199.43	168.43	<0.0001
Tipo de sustrato		1164.52	1	1164.52	4.65	0.0356
Tratamiento		2954.52	3	984.84	3.93	0.0131
Tratamiento de suelo*Tipo ..		1346.06	3	448.69	1.79	0.1599
Error		13529.73	54	250.55		
Total		73498.61	63			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 250.5506 gl: 54

Tratamiento de suelo Medias n E.E.

Convenci 191.14 32 2.80 A

Subsoleo 139.78 32 2.80 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 250.5506 gl: 54

Tipo de sustrato Medias n E.E.

E 175.68 32 2.80 A

A 161.11 32 2.80 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 250.5506 gl: 54

Tratamiento Medias n E.E.

F3 177.47 16 2.92 A

F2 167.35 16 2.92 B

F1 166.31 16 2.92 B C

F0 158.30 16 2.92 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 250.5506 gl: 54

Tratamiento de suelo	Tipo de sustrato	Tratamiento	Medias	n	E.E.			
Convenci	E	F3	209.82	4	5.94	A		
Convenci	A	F3	193.33	4	5.94	A	B	
Convenci	A	F2	192.06	4	5.94	A	B	
Convenci	E	F0	191.85	4	5.94	A	B	
Convenci	E	F1	190.67	4	5.94	A	B	
Convenci	E	F2	189.27	4	5.94	A	B	
Convenci	A	F1	188.81	4	5.94	A	B	
Convenci	A	F0	173.28	4	5.94		B	C
Subsoleo	E	F3	150.51	4	5.94			C D
Subsoleo	A	F3	149.93	4	5.94			C D
Subsoleo	E	F2	149.23	4	5.94			C D
Subsoleo	E	F1	145.98	4	5.94			D
Subsoleo	A	F0	131.96	4	5.94			D
Subsoleo	A	F1	130.78	4	5.94			D
Subsoleo	E	F0	130.46	4	5.94			D
Subsoleo	A	F2	129.38	4	5.94			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Promedio AC (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Promedio AC (mm)	64	0.59	0.52	16.12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8865.59	9	985.07	8.70	<0.0001
Bloque	3686.01	1	3686.01	32.55	<0.0001
Tratamiento de suelo	2855.57	1	2855.57	25.21	<0.0001
Tipo de sustrato	372.01	1	372.01	3.28	0.0755
Tratamiento	1601.28	3	533.76	4.71	0.0054
Tratamiento de suelo*Tipo ..	350.72	3	116.91	1.03	0.3857
Error	6115.84	54	113.26		
Total	14981.43	63			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 113.2564 gl: 54

Tratamiento de suelo Medias n E.E.

Convenci	72.70	32	1.88	A
Subsoleo	59.34	32	1.88	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 113.2564 gl: 54

Tipo de sustrato Medias n E.E.

A	68.43	32	1.88	A
E	53.61	32	1.88	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 113.2564 gl: 54

Tratamiento Medias n E.E.

F3	72.14	16	2.66	A
----	-------	----	------	---

F2	60.93	16	2.66	B
F1	60.80	16	2.66	B
F0	58.20	16	2.66	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 113.2564 gl: 54

Tratamiento de suelo	Tipo de sustrato	Tratamiento	Medias	n	E.E.
Convenci	E	F3	79.58	4 3.99 A	
Convenci	A	F1	78.93	4 3.99 A B	
Convenci	A	F3	78.07	4 3.99 A B C	
Convenci	A	F2	77.23	4 3.99 A B C D	
Subsoleo	A	F3	71.04	4 3.99 A B C D E	
Convenci	E	F2	69.98	4 3.99 A B C D E	
Convenci	E	F1	68.03	4 3.99 A B C D E	
Convenci	A	F0	66.20	4 3.99 A B C D E	
Convenci	E	F0	63.55	4 3.99 A B C D E	
F					
Subsoleo	A	F2	61.44	4 3.99 B C D E	
F					
Subsoleo	E	F1	60.75	4 3.99 C D E	
F					
Subsoleo	E	F3	59.89	4 3.99 D E	
F					
Subsoleo	A	F1	59.49	4 3.99 D E	
F					
Subsoleo	E	F2	59.05	4 3.99 E	
F					
Subsoleo	A	F0	55.02	4 3.99 E	
F					
Subsoleo	E	F0	48.02	4 3.99 F	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Coefficientes de correlación Fase 1

Correlación de Spearman: Coeficientes\probabilidades

	DAC (mm)	Altura total (cm)
DAC (mm)	1.00	0.00
Altura total (cm)	0.82	1.00

Coefficientes de correlación fase 2

Correlación de Spearman: Coeficientes\probabilidades

	Categoria	DAC (mm)	Altura total (cm)	Altura de copa (cm)
07	Categoria	1.00	0.76	0.00
	DAC (mm)	0.02	1.00	3.7E-03
	Altura total (cm)	-0.50	0.16	1.00
	Altura de copa (cm)	-0.28	0.15	0.67

