



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE

Proyecto de investigación previa la obtención del Grado Académico de Magíster en Manejo Forestal Sostenible.

TEMA

VARIACIONES MORFOLÓGICAS DE *Tectona grandis* Linn. F. (teca), *Ochroma pyramidale* Cav. Ex Lam. (balsa) Y *Gmelina arborea* Roxb (melina) POR EFECTO DE pH DEL SUELO EN ETAPA DE VIVERO

AUTORA

ING. AGR. WENDY JANETH CASANOVA MUÑOZ

DIRECTOR

MANUEL DANILO CARRILLO ZENTENO Ph.D

QUEVEDO – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE

Proyecto de investigación previa la obtención del Grado Académico de Magíster en Manejo Forestal Sostenible.

TEMA

VARIACIONES MORFOLÓGICAS DE *Tectona grandis* Linn. F. (teca), *Ochroma pyramidale* Cav. Ex Lam. (balsa) Y *Gmelina arborea* Roxb (melina) POR EFECTO DE pH DEL SUELO EN

AUTORA

ING. AGR. WENDY JANETH CASANOVA MUÑOZ

DIRECTOR

MANUEL DANILO CARRILLO ZENTENO Ph.D

QUEVEDO – ECUADOR

2020

CERTIFICACIÓN

El suscrito **Manuel Danilo Carrillo Zenteno Ph.D**, en calidad de Director de Proyecto de Investigación, previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Manejo Forestal Sostenible.

CERTIFICA:

Que la Ing. Agr. Wendy Casanova Muñoz, autora del perfil de investigación titulado. **“VARIACIONES MORFOLÓGICAS DE *Tectona grandis* Linn. F. (teca), *Ochroma pyramidale* Cav. Ex Lam. (balsa) Y *Gmelina arborea* Roxb (melina) POR EFECTO DE pH DEL SUELO EN ETAPA DE VIVERO”** ha trabajado bajo mi dirección, la misma que está apta para la presentación y sustentación formal ante el tribunal respectivo.

Quevedo, julio de 2020



Manuel Danilo Carrillo Zenteno Ph.D.
DIRECTOR

AUTORÍA

Los criterios, resultados, análisis, conclusiones y recomendaciones expuestas en el presente trabajo de investigación son de total y exclusiva responsabilidad de la autora.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wendy Janeth Casanova Muñoz', is written over a horizontal line.

Ing. Agr. Wendy Janeth Casanova Muñoz

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a quienes seguro se sienten orgullosos de los logros personales que consigo, que es mi familia la que siempre me ha brindado su apoyo incondicional y son mi refugio y fortaleza; mis padres, hermanos y mi mayor inspiración mis hijos. Sobre todo, una dedicatoria especial a quien permite que todo suceda, Dios.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento sincero está dirigido a todos quienes directa o indirectamente me brindaron su respaldo para conseguir la finalización de este proyecto, que aporta a mi vida personal y profesional.

Manuel Carrillo Zenteno Ph.D, por su colaboración y aportación de conocimientos constantes y su infinita paciencia a esta persona.

Carlos Zambrano Ph.D. y su esposa por aparte de incentivar me a la realización de esta meta, son parte de mi familia también.

Ing. Oscar Sánchez, por su amistad y su colaboración constante.

La Estación Experimental Pichilingue – INIAP, por la apertura que permitió ejecutar el trabajo de investigación dentro de sus instalaciones.

Agradecimiento a la maestría Manejo Forestal Sostenible promoción 2016 – 2018, que me permitió conocer personas maravillosas y formar amistades muy valiosas.

A Dios por su infinita bondad y a mi familia el pilar fundamental de mi vida. A mis grandes amores que son la inspiración para tratar de ser mejor en todos los ámbitos de mi vida, todos los días; Hernán Emilio y Paulo José.

RESUMEN

El pH en suelos es considerado como una de las variables más limitantes para la adecuada disponibilidad de nutrientes para las plantas. Las plantas que se desarrollan en suelos ácidos van a llegar a presentar síntomas, como toxicidad por aluminio (Al), hidrógeno (H) y manganeso (Mn) y carencias de nutrientes potenciales como calcio (Ca) y magnesio (Mg). En pH inferior a 5,5, los iones H y Al producen daños en las membranas celulares de la raíz. Las principales formas de adaptación de las plantas a los efectos adversos de la acidez del suelo se pueden agrupar en tolerancia de las especies a la acidez y la utilización de enmiendas para neutralizar la acidez. En este trabajo de investigación se utilizó como enmienda carbonato de calcio (99%), en dosis crecientes, para identificar las variaciones morfológicas de tres especies forestales en fase vivero, considerando parámetros como altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, masa húmeda y seca de raíz y parte aérea. Con los resultados obtenidos dentro del trabajo de investigación, se pretende determinar o identificar las limitantes del desarrollo que se presentan en *T. grandis*, *O. pyramides* y *G. arborea*, establecido en suelos ácidos y la dosis adecuada de correctivo. Los resultados determinaron que existió una relación positiva entre la aplicación de dosis crecientes de CaCO_3 y el incremento de pH del suelo; que la aplicación de CaCO_3 no influyó claramente en la morfología o calidad de la planta de teca, balsa y melina. La especie que alcanzó mayor desarrollo de plantas fue la melina y basado en los resultados se recomienda utilizar dosis mayores de CaCO_3 , en combinación con tratamientos de fertilización.

ABSTRACT

The pH in soils is considered as one of the most limiting variables for the adequate availability of nutrients for plants. Plants that develop in acidic soils will have symptoms such as toxicity due to aluminum (Al), hydrogen (H) and manganese (Mn) and deficiencies of potential nutrients such as calcium (Ca) and magnesium (Mg). At pH below 5,5, the H and Al ions cause damage to the root cell membranes. The main ways of adapting plants to the adverse effects of soil acidity can be grouped in tolerance of species to acidity and the use of amendments to neutralize acidity. In this research work, calcium carbonate (99%), in increasing doses, was used as an amendment to identify the morphological variations of three forest species in the nursery phase, considering parameters such as plant height, stem diameter, number of leaves, area foliar, wet and dry mass of root and aerial part. With the results obtained within the research work, it is intended to determine or identify the limitations of development that occur in *T. grandis*, *O. pyramides* and *G. arborea*, established in acidic soils and the appropriate corrective dose. The results determined that there was a positive relationship between the application of increasing doses of CaCO₃ and the increase in soil pH; that the application of CaCO₃ did not clearly influence the morphology or quality of the teak, raft and melina plant. The species that reached the greatest development of plants was melina and based on the results it is recommended to use higher doses of CaCO₃, in combination with fertilization treatments.

ÍNDICE

	Pág.
PORTADA	i
HOJA EN BLANCO	ii
COPIA DE LA PORTADA	iii
CERTIFICACIÓN	iv
AUTORÍA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPITULO I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1 UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	13
1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA	14
1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.3.1 Problemas Derivados	15
1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.5 OBJETIVOS	16
1.5.1 Objetivo General	16
1.5.2 Objetivos Específicos	16
1.6 JUSTIFICACIÓN	16
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.1 FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL	18
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	23

2.2.1	Acidez del suelo	23
2.2.2	Enmiendas	24
2.2.3	<i>Tectona grandis</i>	24
2.2.4	<i>Ochroma pyramidale</i>	26
2.2.5	<i>Gmelina arborea</i>	27
CAPITULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN		30
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
3.1.1	Métodos de Investigación	31
3.2	CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN	31
3.2.1	Población y Muestra	31
3.2.2	Métodos de evaluación de variables	33
3.3	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	35
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		36
4.1	pH del suelo	37
4.2	Desarrollo de plantas en etapa de vivero	38
4.2.1	Altura de planta	38
4.2.2	Diámetro de tallo	41
4.2.3	Número de hojas	44
4.2.4	Peso húmedo y seco de parte aérea, radicular y área foliar	46
4.3	Índices morfológicos	48
4.3.1	Índice de robustez	48
4.3.2	Índice de calidad de Dickson	50
4.3.3	Relación parte aérea y parte radical	50
4.3.4	Índice de lignificación	51

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1 Conclusiones	54
5.2 Recomendaciones	54
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	60
Anexo 1. Certificado URKUND	61
Anexo 2. ADEVAS y medias de las variaciones morfológicas de las tres especies en su última evaluación a los cuatro meses de edad	62
Anexo 3. ADEVAS y medias de la biomasa de las especies Forestales evaluadas	62
Anexo 4. ADEVAS y medias de los índices de calidad de plantas de las especies forestales evaluadas	62
Anexo 5. Ilustraciones de evaluaciones, aplicación de método destructivo y scanner de área foliar con programa QUANTPORO de los tratamientos en etapa vivero	63

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador desde 2013 se ha dado impulso al establecimiento de especies forestales, con Programas de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales, entre las cuales teca, melina y balsa son especies incentivadas para la Región costa y oriente (MAG, 2014). La producción de plantas en viveros forestales es de gran importancia para apoyar los programas de reforestación y ayudar a disminuir las áreas deforestadas; esto implica producir en el vivero de la manera más eficiente, plántulas que posean características morfológicas y fisiológicas propicias para alcanzar mayores tasas de supervivencia y crecimiento inicial para un sitio determinado; donde tenga la capacidad de adaptarse y desarrollarse en condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación (Prieto y Alarcón, 1998; Rodríguez, 2008).

Conocer los factores morfológicos y fisiológicos que influyen en la calidad de la planta producida en vivero, debe ser una prioridad de los agentes involucrados en los programas relacionados con el establecimiento de plantaciones forestales (Rueda *et al.*, 2012). Las técnicas existentes para evaluar las pruebas morfológicas de calidad de planta se destacan por ser fáciles de medir, la mayoría de ellas no son destructivas, se evalúa la forma o estructura de un organismo o de cualquiera de sus partes.

Para el caso de las especies forestales de importancia, no se conocen valores de tolerancia a la acidez del suelo (Pérez *et al.*, 1993); así, especies como *T. grandis*, *G. arborea*, *C. alliodora* y *B. quinataen* que crecen naturalmente en suelos derivados de materiales calcáreos o en suelos aluviales fértiles, la situación es diferente ya que estas cuando se plantan en suelos ácidos (principalmente Ultisoles y Oxisoles), si responden al encalado y se ven favorecidas por la adición de bases cambiables al suelo (Delgadillo *et al.*, 1991; Vallejos, 1996; Montero, 1999).

Este trabajo de investigación se realizó con el fin de medir el grado de tolerancia a la acidez e identificar qué características morfológicas de las especies evaluadas se ven afectados por el pH del suelo, determinando la dosis de enmienda con la que se consigue alcanzar plantas con mejor aspecto morfológico (vigor).

Este proyecto de trabajo de titulación está compuesto de cinco capítulos:

En el primer capítulo, se describe el marco contextual de la investigación, la situación actual del problema y sus problemas derivados, el objetivo general, específicos y los cambios esperados.

En el segundo capítulo, el marco teórico de la investigación que contiene la parte teórica; insumos importantes para fundamentar la presente investigación.

En el tercer capítulo, se hace referencia a la metodología de la investigación, instrumentos, procesamientos, parámetros que se toman en consideración para la elaboración de la presente investigación.

En el cuarto capítulo, se presentan los resultados y discusión de la investigación sobre las variaciones morfológicas de teca, balsa y melina por efecto de pH en etapa de vivero.

En el quinto capítulo, se detallan las conclusiones y recomendaciones del estudio. Finalmente se presentan las referencias bibliográficas y los Anexos.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Para cualquier programa de reforestación, los viveros forestales constituyen el primer paso donde se define los sitios para producción de plantas forestales, donde se proporciona todos los cuidados necesarios para ser trasladadas al terreno definitivo de plantación. La supervivencia de una plantación forestal depende de varios factores entre los que se destaca la calidad de las plantas. Al utilizar plantas de calidad, se incrementa la probabilidad de éxito (Villar *et al.*, 2000); por lo tanto, conocer los elementos morfológicos y fisiológicos que influyen en la planta que es producida en vivero, debe ser una prioridad de los agentes involucrados en los programas relacionados con el establecimiento de plantaciones forestales. Los indicadores que ayudan a determinar de manera fácil la calidad morfológica de las plantas son: altura, diámetro del cuello de la raíz y el peso seco total (Orozco *et al.*, 2010).

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en la provincia de Los Ríos, cantón Mocache, en el km 5 vía Quevedo – El Empalme en la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Se implementó un diseño de vivero con tres repeticiones de cada una de las especies forestales evaluadas *T. grandis*, *O. pyramidale* y *G. arbórea* y seis tratamientos en dosis de 1, 2, 3, 4 y 5 t ha⁻¹ de CaCO₃ y un testigo. La investigación se realizó empleando suelo con textura franco arcillo limosa y pH de 4,5.

Características climáticas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue:

Parámetros	Promedio
Temperatura (°C)	25,3
Precipitación anual (mm)	2252,0
Heliofanía (h)	890,0
Humedad relativa (%)	86,0
Zona de vida	Subhúmedo - Tropical

Fuente: Estación meteorológica INAMHI INIAP-Pichilingue.

1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA

La clave de un manejo forestal sostenible es un apropiado entendimiento de los procesos de crecimiento y los factores que lo afectan; por lo tanto, se busca identificar las variaciones morfológicas manifestadas en las especies forestales, en etapa de vivero, por efecto de la variación en el pH del suelo provocadas por aplicaciones de dosis crecientes de CaCO_3 .

Los suelos tropicales donde se desarrollan las plantaciones forestales son generalmente ácidos, debido al exceso de precipitación que lava las bases intercambiables del suelo, como el calcio, magnesio, potasio y sodio (Malagón, 2003); en contraste, el aluminio intercambiable aumenta hasta llegar a ser tóxico para los árboles, debido a que afecta las raíces impidiendo su buen desarrollo, ingresando dentro del sistemas de la planta y precipita el fósforo que es un elemento esencial (Arias, 2007).

Louman *et al.* (2001) expresan de igual forma que los factores que más influyen en la calidad de los suelos tropicales son probablemente el pH y la humedad. Por tanto, es necesario entender y manejar las situaciones que afectan desde el punto de vista edáfico, el desarrollo forestal en el trópico, para mejorar la nutrición a los árboles y obtener mayores rendimientos.

La calidad de un determinado lote de plantas respecto a sus atributos morfológicos, puede clasificarse según la homogeneidad del mismo y su capacidad relativa de supervivencia y crecimiento, en unas condiciones reales determinadas y esto se puede hacer usando relaciones sencillas de los atributos morfológicos, como altura vs diámetro o peso seco aéreo vs radical.

1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Problema General

¿De qué manera incide la acidez de los suelos en las variaciones morfológicas de las plántulas de especies forestales en etapa de vivero?

1.3.2 Problemas Derivados

¿Cómo incide la acidez de los suelos en la obtención de plantas de especies forestales de calidad?

¿De qué manera la aplicación de CaCO_3 en los suelos, influye en el desarrollo de las plántulas de especies forestales en la etapa de vivero?

¿Qué características morfológicas influyen en la calidad de las plantas en la fase de vivero?

1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el cantón Mocache provincia de Los Ríos, Estación Experimental Tropical Pichilingue. El problema a investigar está delimitado en base a los siguientes ámbitos:

CAMPO: Ciencias Forestales

ÁREA: Vivero

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Manejo Silvicultural, protección, aprovechamiento sostenible y transformación de productos forestales de plantaciones y bosques naturales.

ASPECTO: Variaciones morfológicas en especies forestales

TIEMPO: diciembre 2018 – febrero 2020

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Evaluar las variaciones morfológicas en teca (*Tectona grandis*), balsa (*Ochroma pyramidale*) y melina (*Gmelina arborea*) en vivero, por efecto del pH, y observar el vigor inicial de las plántulas.

1.5.2 Objetivos Específicos

- ✓ Evidenciar las variaciones en el pH del suelo por efecto de dosis crecientes de CaCO_3 .
- ✓ Determinar el efecto del sustrato en el desarrollo de las plántulas de tres especies forestales, en etapa vivero.
- ✓ Identificar la o las especies forestales que mejor responden al encalado, mediante cálculo de índices morfológicos, en fase vivero.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La evaluación en el desarrollo de las plantas de las tres especies en estudio, teca, balsa y melina; tiene como propósito identificar cuales de las variables morfológicas de las plantas se ve influenciada por el efecto de suelos ácidos e determinar las ventajas de realizar el encalado. Los suelos de la provincia de Los Ríos, por la siembra de cultivos extensivos con elevado uso de fertilizantes, acompañados de precipitaciones fuertes en la temporada lluviosa, tienden a acidificarse, efecto que ocasiona reducción en el crecimiento de las plantas, disminución de la disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg y P favoreciendo la solubilización de elementos tóxicos para las plantas como el Al y Mn.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL

2.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)

La acidez en el suelo se determina midiendo la actividad del H^+ en la solución y se expresa con un parámetro denominado potencial hidrógeno (pH) que es considerado un indicador útil de la presencia de Al^{+3} e H^+ intercambiable. El H^+ intercambiable está presente mayoritariamente en el suelo a $pH < 4,0$; mientras que el Al^{+3} intercambiable aparece predominantemente entre $pH 4,0$ a $5,5$. El valor del pH es la primera medida a realizar en los análisis de suelos; y es necesario al considerar la nutrición de las plantas y para comprender las propiedades químicas de los suelos.

2.1.1 Escala de pH

En términos generales los suelos ácidos son los que presentan pH menores de 6,5, suelos neutros los que tiene pH entre 6,5 y 7,3 y los suelos básicos aquellos con valores de pH mayores de 7,3; no obstante, cada especie vegetal crece mejor en un rango de pH determinado, siendo que con pH entre 5,5 y 6,5 favorecen tanto la solubilidad como la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Ibáñez, 2007).

2.1.2 Acidez del suelo

Un ácido es una sustancia que tiende a entregar protones (iones hidrógeno); por otro lado, una base es cualquier sustancia que acepta protones. La acidez de una solución está determinada entonces por la actividad de los iones de hidrógeno (H^+). El principal efecto de la disminución del pH del suelo sobre los cultivos es la limitación del desarrollo radicular, por lo cual las raíces reducen el volumen de suelo que pueden explorar y se tornan ineficientes para absorber nutrientes y agua, generando así deficiencias nutricionales en los cultivos.

2.1.3 Carbonato de calcio (CaCO₃)

Es un producto químico que está autorizado para la Agricultura Ecológica, por las propiedades que tiene y los beneficios que da al suelo de cultivo. Esta caliza se define como material fertilizante, que pueden contener Ca y Mg generalmente en forma de hidróxidos, óxido o carbonatos; estos compuestos están destinados principalmente para mantener o elevar el pH del terreno, además de mejorar sus propiedades. A estos productos se les llama también correctores al tener la capacidad de mejorar el pH y es el material más utilizado para encalar los suelos (Espinoza y Molina, 1999).

2.1.3 Encalado

Consiste en la aplicación al suelo de las sales básicas que neutralizan la acidez. Encalar es el proceso de aplicar cales o enmiendas al suelo para corregir su acidez, en el cual se dan reacciones de neutralización; es decir, la cal consume H⁺ de las diferentes fuentes de acidez del suelo, aumentando el pH (Zapata, 2004). El encalado es una práctica agrícola que se usa desde tiempos remotos para mejorar la productividad de los suelos ácidos, por lo que este proceso tiene un efecto múltiple sobre diferentes características químicas, físicas y microbiológicas del suelo, por este motivo el encalado es objeto de estudio en el mundo (Osorno, 2012).

2.1.4 Lignina

La lignina es uno de los componentes foliares más ampliamente utilizados como índice de calidad del material vegetal y sus concentraciones son consideradas como uno de los principales indicadores de las tasas de descomposición (Meentemeyer, 1978). En la madera de árboles tropicales, la cantidad de lignina es de 20 a 30 % (Whetten *et al.*, 1998); además, la mayor lignificación de la planta la hace más resistente a daños físicos (Mc Tiernan *et al.*, 2003).

2.1.5 Morfología de las plantas

La morfología de las plantas es considerada como una parte de la ciencia de la botánica, que trata de la descripción de la forma y estructura de las mismas, la cual tiene que ver con la actividad dinámica de las plantas, es decir, de su fisiología. Ciertos atributos morfológicos pueden ser usados como indicadores del desarrollo potencial de las plantaciones forestales y clasificar las plantas en distintas categorías de calidad según sus características (Navarro *et al.*, 1998).

2.1.6 Altura

La altura es una variable necesaria para estimar el volumen, crecimiento y para la clasificación de sitios. Se puede distinguir la altura total, comercial, la altura del fuste limpio y altura de la copa. Es la característica morfológica más fácil de evaluar en una plántula y tiene poco valor como indicador único de la calidad de la planta, hasta que se combina con el diámetro o la arquitectura del tallo (Anstey, 1971).

2.1.7 Diámetro

Es la medición morfológica más usada para evaluar calidad de la planta. Este refleja la resistencia de las plantas y el tamaño del sistema radical y se ha encontrado que está positivamente relacionado con la cantidad de sustancias de reserva (Mullin y Swanton, 1972). South y Mexal (1984) encontraron que plantas con diámetros de tallos mayores a 4 cm, lograron supervivencias de hasta 80%, pero la relación supervivencia / diámetro, se vio afectada por la masa radical (Blake *et al.*, 1989).

2.1.8 Índices morfológicos

La evaluación de la supervivencia a través de las variables morfológicas, no ofrecen por si solas la confiabilidad suficiente para predecir el comportamiento

en campo de un lote de plantación. Por ello, la utilización de índices que involucran una combinación de varias características morfológicas, genera un indicador conveniente del comportamiento en campo a largo plazo. Los índices morfológicos más utilizados como indicadores de calidad de plantas son: índice de robustez, índice de calidad de Dickson, la relación parte aérea / raíz e índice de lignificación.

2.1.8.1 Índice de Robustez

Es la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm); es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por el viento, mayor supervivencia y crecimiento potencial en sitios secos, su valor debe ser menor a seis. Un valor inferior indica una mejor calidad de la planta, arbolitos más robustos, bajos y gruesos son más aptos para sitios con limitación de humedad (Fierros *et al.*, 2001).; valores superiores a seis sugieren una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, pudiendo ser tallos elongados con diámetros delgados (Prieto *et al.*, 2003; Prieto *et al.*, 2009); describen ejemplares más vulnerables a daños por viento, sequía y heladas (Rodríguez, 2008).

2.1.8.2 Índice de calidad de Dickson (ICD)

Este índice permite evaluar mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra y se ha utilizado para predecir el comportamiento en campo, de plántulas de *Picea glauca* (Moench) Voss y *Pinus strobus* L. (González *et al.*, 1996). El índice que mejor determina la calidad de planta es el Índice de Dickson, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, impidiendo elegir plantas desproporcionadas y eliminar plantas de menor altura, pero con mayor vigor (García, 2007).

2.1.8.3. Índice de lignificación

Este índice relaciona el peso seco total, entre el peso húmedo total de la planta (contenido de agua), el cual determina el porcentaje (%) de lignificación; lo cual expresa el nivel de pre-acondicionamiento de las plantas. Es uno de los componentes foliares más usados como índice de calidad de la materia vegetal; sus concentraciones son consideradas como uno de los principales predictores de las tasas de descomposición (Meentemeyer, 1978).

2.1.8.4 Área foliar

El área foliar alcanzada por una planta durante ciertos estadios específicos de desarrollo, es un dato imprescindible para la calibración, adaptación y aplicación racional de los modelos de simulación agroambientales. La magnitud del área foliar define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios (Tsuji, 1994).

El área foliar junto con variables de peso seco de biomasa, número de nudos, ramas y altura de tallo; puede ser utilizada para describir un resumen de los procesos fisiológicos principales del cultivo y para calcular otros índices derivados como IAF, intensidad de crecimiento relativo (ICR), área foliar específica (AFE), entre otros (Barradas, 1999).

2.1.8.5 Masa radicular

El crecimiento radicular está ligado al suministro de compuestos de carbono elaborados por las partes aéreas de las plantas, existiendo una relación entre el crecimiento radicular y el crecimiento de la parte aérea. El estudio de la masa radicular y área son la base de la redistribución de los carbohidratos en los modelos de crecimiento. En la medida en que se incremente la longitud

radicular o su extensión por unidad de volumen de suelo, es natural pensar que la capacidad de absorción radicular se incrementará, reduciendo a su vez el riesgo de estrés hídrico o carencia de nutrientes (Gardner, 1991).

2.1.8.6 Masa aérea

El peso de masa aérea y radical de una planta tiene alta correlación con la supervivencia en campo, con la misma consistencia que el diámetro del tallo o cuello de la raíz. También, el diámetro está fuertemente correlacionado con el peso de la parte aérea y del sistema radical. El peso seco es un indicador efectivo cuando se relaciona la parte aérea con el sistema radical (Thompson, 1985; Mexal y Landis, 1990).

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Acidez del suelo

Para el desarrollo forestal, es importante reconocer y entender lo que representa un suelo ácido, y como lo expresa Zapata (2004) “la acidificación de los suelos contribuye en disminuir la fertilidad del suelo y generar bajos rendimientos de los cultivos, provoca variaciones en la estructura de la microflora y microfauna del suelo y disminuye la fijación biológica de nitrógeno”.

En árboles forestales afectados por problemas de acidez, se observa reducción del crecimiento ortotrópico, lo que se refleja en la presencia de segmentos de crecimiento cortos y entrenudos muy cercanos en la parte apical; los cuales en casos extremos llegan a morir; la parte inferior del área foliar presenta hojas necrosadas en los bordes y a veces en su totalidad, efecto asociado a la baja fertilidad de los suelos que estimula posibles deficiencias de bases (Ca, Mg y K) en las hojas (Alvarado y Fallas, 2004).

2.2.2 Enmiendas

Las calizas o enmiendas tienen como acción fundamental modificar favorablemente las propiedades físicas y/o químicas del suelo, particularmente el pH del mismo, en este caso, el término enmienda incluye a los correctivos de la acidez del suelo (Osorno, 2012). Las calizas o enmiendas usadas como correctivos de la acidez, son productos comerciales tipificados como fuentes minerales, de origen natural o industrial, que portan en su composición carbonatos, óxidos, hidróxidos, sulfatos y silicatos de calcio y/o magnesio, y debido a su diferente naturaleza química, estos materiales difieren en su capacidad para neutralizar la acidez del suelo (Molina, 1998; Castro y Gómez, 2010).

2.2.3. *Tectona grandis*

2.2.3.1 Descripción taxonómica y botánica

Esta especie forestal es de la familia Verbenaceae, con nombre científico *Tectona grandis* Linn F. y nombre común Teca. Alcanza alturas mayores a 30 m y 80 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). tronco recto, con tendencia a bifurcarse o ramificarse en exceso si crece aislado. Su corteza externa es castaño claro, escamosa y agrietada; su corteza interna blanquecina. Copa angosta en árboles jóvenes, y medianamente amplia en árboles adultos. Hojas simples opuestas, ovales, grandes, verde oscuro y ásperas en el haz, blanquecinas y tomentosas en el envés, deciduas. Sus flores blanquecinas, pequeñas, agrupadas en grandes panículas terminales erectas. Su fruto es una drupa café cuadrilobulada con una semilla pequeña, oleaginosa bastante dura, se encuentra en estado natural en la India, Birmania, Tailandia, Indochina y Malasia. En Ecuador se la encuentra cultivada en la región costa (Ecuador Forestal, 2012).

2.2.3.2 Características Edafoclimáticas

Los requerimientos climáticos óptimos para el buen desarrollo de esta especie oscilan en altitudes de 0 - 800 msnm, precipitación entre 1.000 – 2.200 mm y temperatura de 22 – 28 °C. En cuanto requerimientos edáficos prefiere suelos arenosos o franco arenosos, bien desarrollados, bien drenados y aireados, aún más si son aluviales. Tiene capacidad de adaptación a suelos pobres y a suelos calcáreos. Se aclimata a una gran variedad de suelos con buen drenaje interno y en áreas de suelos arcillosos pesados. También se adapta en suelos franco-arcillo-arenosos, con pH de 5,0 a 8,5 pero se desarrolla mejor con pH de 6,5 a 7,5. Prefiere suelos con un metro de profundidad para desarrollar sus raíces; no tolera el agua estancada, ni la arcilla compactada (anaerobiosis). En suelos poco fértiles presenta menor crecimiento y altura.

2.2.3.3 Factores limitantes de crecimiento

No tolera la sombra ni suelos anegados, pantanosos, muy pedregosos y compactados. No son favorables sitios con pendientes superiores al 25%. El exceso de agua pudre las raíces. No se conviene plantar en suelos con menos de 8 meq/100 ml de calcio o muy ácidos con alto contenido de hierro. Aun cuando es una especie resistente al fuego, los incendios pueden causarle daños de consideración.

La presencia de la hormiga arriera (*Atta* sp.) en plantas jóvenes es una verdadera plaga; así también, el insecto (*Membrasis c-album*) daña los brotes tiernos y produce ramificación.

2.2.3.4 Producción en vivero

Las plántulas se producen en bancales semilleros empleando una distancia de 5x5 cm, la germinación se inicia a los 10 días después de la siembra. El trasplante se realiza a fundas de polietileno o macetas (bandejas),

inmediatamente después de la germinación, cuando las plantas tienen 3 cm de altura, pudiendo permanecer de 3 – 4 meses, donde adquieren tamaños de 20 a 25 cm de altura.

Las semillas que son recolectadas de árboles semilleros, tienen un alto poder germinativo (85%), no requieren tratamiento pre germinativo; sin embargo, para favorecer la velocidad de germinación, se sugiere remojar las semillas en agua a temperatura ambiente por 24 horas.

2.2.4 *Ochroma pyramidale* Cav. Ex Lam

2.2.4.1 Descripción taxonómica y botánica

Esta especie forestal es de la familia Malvaceae, su nombre científico *Ochroma pyramidale*; conocida comúnmente como balsa, palo de balsa o boya. Alcanza hasta 30 m de altura y 70 cm de DAP, su tronco es recto y cilíndrico con raíces tablares grandes, corteza externa gris y lisa. Copa amplia y redondeada, de gran tamaño, hojas simples, alternas, pentalobuladas, grandes, pubescentes por el envés, con el pecíolo casi del tamaño de la lámina foliar. Flores grandes, blancas y campanuladas, su fruto una cápsula dehiscente con semillas pequeñas, negras, rodeadas por una lana. La balsa se encuentra en México, Costa Rica, Perú, Ecuador, Bolivia y Brasil. En Ecuador se distribuye principalmente en la región costa (Ecuador Forestal, 2012).

2.2.4.2 Características Edafoclimáticas

Los requerimientos climáticos favorables para el buen desarrollo de esta especie oscilan entre una altitud de 0 – 1.000 msnm, precipitación entre 1.500 – 3.000 mm, pudiendo soportar 500 mm y temperaturas de 22 – 27 ° C. Un crecimiento óptimo sólo se produce en suelos profundos de origen aluvial, con buena aireación y en ningún caso anegado, o bien en suelos arenosos o levemente arcillosos, producto de la meteorización de rocas ricas en bases.

2.2.4.3 Factores limitantes de crecimiento

No tolera suelos con niveles bajos de humedad y en suelos superficiales, es susceptible de volcamiento por vientos fuertes. El crecimiento en sitios desfavorables y las lesiones causadas a los árboles, conducen a la producción de madera pesada y de baja calidad.

2.2.4.4 Producción en vivero

Se realizan por medio de almácigos y como sustrato se recomienda tierra y arena en proporción 1:3, una vez que la planta tiene de 2 – 8 cm, se realiza el trasplante a bolsas plásticas. Para el sustrato de las bolsas se recomienda tierra fértil y cascarilla de arroz en proporción de 20%. Los árboles deben alcanzar entre 6 – 25 cm para ser llevadas a campo. En plantaciones de más de seis años de establecidas en Colombia, se obtienen semillas de calidad de árboles plus y en el país estas fuentes se encuentran en Manabí.

2.2.5 *Gmelina arborea* Roxb

2.2.5.1 Descripción taxonómica y botánica

Esta especie forestal pertenece a la familia Verbenaceae, su nombre científico es *Gmelina arborea* Roxb., conocida comúnmente como melina. Es un árbol decíduo, sin contrafuertes, alcanza hasta los 30 m de altura y hasta 120 cm de diámetro. La gama de colores de la madera va desde blanco grisáceo a marrón amarillento. La madera del duramen y la albura apenas se diferencia entre sí en cuanto al color. Tronco sin defectos, casi rectilíneo, copa en forma de cúpula y la raíz con la misma corteza suberosa de color pálido y aparecen a nivel del suelo. Corteza de color gris pálido-fina y lisa, con el paso del tiempo va adquiriendo un tono marrón y se vuelve más rugosa. Las hojas opuestas ampliamente ovaladas, acuminadas, cordiformes glaucas por el envés; las

hojas caen entre enero y febrero y las nuevas aparecen en marzo y abril en su hábitat natural. Flores de un color naranja brillante y su fruto una drupa ovoide u oblonga, succulento de 2,3 a 3,0 cm de largo, amarillo cuando maduro, con un pericarpio coriáceo lustroso, pulpa de sabor dulce y hueso de textura dura. En plantaciones los árboles empiezan a producir frutos de tres a cuatro años de edad y la fructificación es regular y abundante cada año. Sus semillas tienen capacidad germinativa mayor al 80% y en un tiempo de germinación de 15 a 20 días.

Originario del Asia, en especial de la India en el Sub Himalaya, esporádicamente encontrado en el oeste y sur de India, se ha difundido a países del cinturón tropical; es un árbol razonablemente fuerte para su peso. Se cultiva en zonas de vida de bosque húmedo y muy húmedo de la región tropical; bosque húmedo montano bajo de la región subtropical (Ecuador Forestal, 2012).

2.2.5.2 Características Edafoclimáticas

Los requerimientos climáticos óptimos oscilan con altitudes de 0 – 1.000 msnm, precipitación de 1.000 – 4.500 mm y temperaturas entre 22 – 27 °C. Prefiere suelos profundos, húmedos, bien drenados, fértiles, de los valles aluviales, francos o franco arenosos y prefiere pH alcalinos o ligeramente ácidos, pero no tiene éxito en suelos muy ácidos y lixiviados. Se adapta en suelos calcáreos y moderadamente compactados.

2.2.5.3 Factores limitantes del crecimiento

El crecimiento se ve afectado en suelos superficiales, pobres, con capas endurecidas, impermeables y pedregosas, así como en ácidos, muy lixiviados, anegados o pantanosos. Es muy susceptible a las arenas secas. Las plantaciones que prosperan en suelos erosionados o muy compactados, de

topografía quebrada y muy superficiales, presentan características indeseables como fustes torcidos, poca altura, muy ramificados y con aspecto arbustivo.

2.2.5.4 Producción en vivero

Es recomendable utilizar sustratos con contenido de materia orgánica de 8 – 10%, y de ser posible la utilización de cenizas de madera; al ser sembrada la semilla se colocará según su fisionomía con la punta hacia abajo. Cuando se producen en semilleros, se preparan pequeños surcos paralelos con una profundidad de 2 a 3 cm, colocando la semilla en los surcos para posteriormente cubrirlos con una capa delgada de sustrato. La especie puede también ser reproducida como pseudo estacas, podando 5 – 15 cm la parte aérea de las plántulas cuando éstas alcancen un diámetro basal de 1 – 2,5 cm, dejando de dos a tres yemas y de 15 – 25 cm de raíz.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación utilizado es experimental, pues está conformado por un proceso de actividades metódicas y técnicas ejecutadas para recopilar información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver.

3.1.1 Método de Investigación

En el presente trabajo de investigación se empleó el método inductivo y experimental.

- ✓ Método Inductivo. - Se aplicó para obtener conclusiones generales a partir de la evaluación de tres especies forestales en etapa vivero.

- ✓ Método Experimental. – Fue usado para tener un control o un testigo, que es parte de este, no sometido a modificaciones y que se utiliza para comprobar los cambios que se causaron. El experimento es reproducible, es decir, planteado y descrito de forma que pueda repetirlo cualquier experimentador en variaciones morfológicas forestales por efecto de pH.

3.2. CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN.

3.2.1 Población y muestra

Población

La población considerada para este trabajo de investigación está integrada por el sustrato a usar con diferentes dosis de CaCO_3 y las plántulas de tres especies forestales, cuya combinación resultan los tratamientos (Tabla 1) a evaluarse en esta investigación.

Tabla 1. Tratamientos resultantes de la interacción entre especies forestales y dosis de CaCO₃, evaluados en la investigación

N° Tratamientos	Especie	CaCO ₃ t ha ⁻¹
1	Teca	0
2	Teca	1
3	Teca	2
4	Teca	3
5	Teca	4
6	Teca	5
7	Balsa	0
8	Balsa	1
9	Balsa	2
10	Balsa	3
11	Balsa	4
12	Balsa	5
13	Melina	0
14	Melina	1
15	Melina	2
16	Melina	3
17	Melina	4
18	Melina	5

Muestra

Para este estudio se tomó como muestra el total de la población, que en combinación de los factores forman 18 tratamientos; donde se evaluaron las tres especies forestales, en sustratos con cinco dosis de carbonato de calcio, más el tratamiento testigo, todas con tres replicas.

La procedencia de las semillas usadas para este trabajo fue: las de teca de la EET – Pichilingue de la selección árboles plus (reservadas en cuarto frío), las semillas de balsa fueron obtenidas del banco semillas de la empresa maderera Plantaciones de Balsa Plantabal S.A. y melina procedente de Costa Rica de semilla conservada en cuarto frío en la EET- Pichilingue; todas fueron sometidas a un proceso de pre-germinación para ser así trasplantadas en las fundas de polietileno.

Las plantas se desarrollaron en vivero en fundas de polietileno de 6 x 8 pulgadas, usando suelo que inicialmente tenía un pH inicial de 4,5 y una textura franca arcillo limosa (arena 16%, limo 54% y arcilla 30%). El sustrato fue sometido a incubación con carbonato de calcio durante dos meses con dosis de 0, 1, 2, 3, 4, 5 t ha⁻¹. Durante un periodo de cuatro meses, se evaluó en etapa de vivero las variables altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, masa radicular y aérea en húmedo y seco.

Con las variables anteriores, se procedió a calcular los índices morfológicos:

$$\text{Índice de robustez IR} = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} \quad (\text{Thompson, 1985})$$

$$\text{Índice de calidad de Dickson ICD} = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura (cm)}}{\text{diámetro (mm)}} + \frac{\text{peso seco de la parte aérea (g)}}{\text{peso seco de la raíz (g)}}} \quad (\text{Dickson et al., 1960})$$

$$\text{Relación parte aérea y radical RAR} = \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}} \quad (\text{Thompson, 1985})$$

$$\text{Índice de lignificación IL} = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\text{Peso fresco total (g)}} \times 100 \quad (\text{Prieto, et al, 2004}) \quad (\text{Sáenz et al., 2010})$$

3.2.2 Método de evaluación de variables

3.2.2.1 Altura de planta

Para la altura de los tallos de las plantas se tomó datos con una regla graduada de 1,0 m, desde la base de la planta hasta su punto terminal del tallo, se registró este valor en centímetros.

3.2.2.2 Diámetro del tallo

Para la evaluación de esta variable se usó un calibrador, tomando el diámetro del cuello de la raíz y expresado en milímetros.

3.2.2.3. Número de hojas

El número de hojas se realizó contando las hojas presentes en cada evaluación, hojas bien desarrolladas y visualmente observadas en cada planta.

3.2.2.4. Área foliar

Se tomó todas las hojas de cada tratamiento, después de su proceso de secado y con el programa QUANTPORO, que permite mediante el scanner calcular el área foliar y los datos expresa en centímetros cuadrados (Viana, 2001).

3.2.2.5 Peso húmedo de masa aérea y radicular

Se empleó el método destructivo, con ayuda de tijeras de podar fue separada la parte aérea del sistema radicular de las plantas y se registraron los pesos en una báscula digital de precisión.

3.2.2.6 Peso seco de masa aérea y radicular

Registrado el valor de peso húmedo, las partes aéreas y foliar de las plantas se empacaron en fundas de papel, con sus identificaciones respectivas y se sometieron a secado en estufa a 70 °C; hasta peso constante y se registró este dato.

3.2.2.7 Índices Morfológicos

Con los datos conseguidos anteriormente, se procedió a calcular el Índice de Robustez, Índice de calidad de Dickson, Índice de Lignificación y Relación parte aérea y radical.

3.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

A nivel de invernadero las unidades experimentales estaban distribuidas, siguiendo un Diseño de parcelas divididas (Tabla 2), como primer factor se consideraron las especies forestales (teca, balsa, melina), como segundo factor las dosis de carbonato de calcio (0, 1, 2, 3, 4, 5 t ha⁻¹), siendo el valor de cero considerado como testigo. Todos los tratamientos fueron replicados tres veces y para determinar diferencias entre las medias de los tratamientos se empleó la prueba de rangos múltiples de Tuckey ($P \leq 0,05$).

Tabla 2. Esquema de ADEVA empleado en el trabajo de investigación

Fuente de Variación		Grados de Libertad
Total	abr - 1	53
Repeticiones	r - 1	2
Factor A	a - 1	2
Error A	(a - 1) (r - 1)	4
Factor B	b-1	5
Interacción A x B	(a - 1) (b - 1)	10
Error B	a(b - 1) (r - 1)	30

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 pH del suelo

La muestra de suelo para el trabajo de investigación se recolectó en un lote dedicado a ciclo corto, del primer horizonte entre los 0 – 30 cm; esta fue sometida a secado natural y tamizada por malla de 2 mm. Considerando que el sustrato y/o suelo inicialmente tenía un pH de 4,5 (fuertemente ácido); este fue sometido a incubación por dos meses con la aplicación de dosis crecientes de CaCO_3 (0, 1, 2, 3, 4, 5 t ha^{-1}).

En la Figura 1, se observa que existe una relación directa entre la cantidad de CaCO_3 aplicado sobre el pH del suelo, alcanzando pH de 5,93 con la dosis de 5,00 t ha^{-1} de CaCO_3 , elevando en cerca de un punto al pH del testigo.

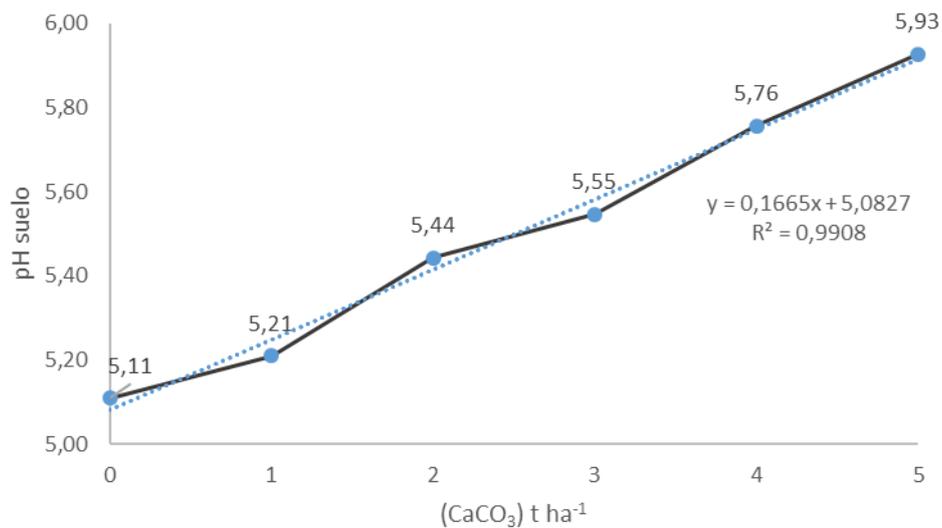


Figura 1. Variación del pH del suelo por dosis crecientes de CaCO_3 .

Todos los tratamientos evaluados se encuentran dentro del rango óptimo de acidez (5,0 a 6,5) recomendado por la FAO (2002), para la propagación de plantas en vivero y con 3 t ha^{-1} de CaCO_3 el pH fue mayor a 5,5, valor de pH donde el Al^{3+} , disminuye su disponibilidad y toxicidad para las plantas (Álvarez *et al.* 2009).

El incremento de 4,5 a 5,0 en el pH del tratamiento testigo, puede deberse al agua usada en la incubación o debido a una mayor actividad de los microorganismos, que provocaron la descomposición de la materia orgánica y producción de ácidos orgánicos. Así la liberación de CO₂ trae como consecuencia la formación de ácido carbónico (H₂CO₃), que puede provocar variación del pH (Toledo, 2016).

4.2 Desarrollo de las plántulas en etapa de vivero.

Posterior a la incubación del sustrato con CaCO₃ y la siembra de las semillas de las especies forestales sometidas a distintos procedimientos de pre-germinación; se evaluaron mensualmente, por cuatro meses, las variables morfológicas descritas a continuación:

4.2.1 Altura de planta

En la tabla 3 se aprecia que la altura de planta varió significativamente por especies, destacándose la melina, que presentó efectos estadísticos significativos con las otras especies, en las diferentes edades evaluadas, consiguiendo alturas promedio de 15,92, 30,18, 39,54 y 50,03 cm, desde la primera a la cuarta evaluación, respectivamente. Esto corresponde a lo indicado por Obregón, (2005) quien indica que *G. arborea* posee la cualidad de su crecimiento acelerado hasta los cinco a seis años de haber sido plantada y que cuando adulta, su desarrollo se torna lento.

Por otro lado, hasta el segundo mes de evaluación, la altura de planta de teca y balsa no mostraron variaciones estadísticas por efecto de las dosis de enmienda; sin embargo, a para el cuarto mes, las plantas de balsa experimentaron mayor crecimiento que las de teca, observándose diferencias estadísticas significativas, siendo respuestas obvias de las especies, debido a sus características fenotípicas y genotípicas diferentes.

Las variaciones en altura por la interacción de las especies forestales y dosis de enmiendas, fueron estadísticamente significativas para la cuarta evaluación, siendo que las mayores alturas se encontraron con melina y aplicaciones de 0, 3 o 5 t ha⁻¹ de CaCO₃ (> 50 cm de altura), siendo que la teca en el tratamiento testigo, con valor promedio de 8,73 cm, resultó ser la altura más baja y estadísticamente diferente.

De las tres especies, la teca y balsa presentaron mayor respuesta a la aplicación de enmiendas, siendo que en la teca se consiguió incrementar la altura de planta en 58,6% en relación al testigo, con la aplicación de 1 t ha⁻¹ de CaCO₃; en tanto que, para balsa el incremento fue de 3,4 y 6,4% con la aplicación de 1 y 5 t ha⁻¹ de CaCO₃, en su orden.

Tabla 3. Valores promedios de altura de planta (cm), de tres especies forestales, por efecto de aplicación de dosis crecientes de CaCO₃ en edad de uno a cuatro meses

ESPECIES	CaCO ₃ (t ha ⁻¹)	MESES							
		1		2		3		4	
TECA		cm							
	0	5,57	ab	6,73	a	7,93	a	8,73	a
	1	7,07	b	9,17	abc	11,67	a	13,87	b
	2	7,07	b	8,40	ab	9,40	a	10,83	ab
	3	8,13	b	10,03	abc	11,30	a	12,77	ab
	4	7,03	b	8,40	ab	9,47	a	10,67	ab
	5	7,07	b	9,63	abc	10,47	a	11,47	ab
PROMEDIO		6,99	B	8,73	A	10,04	A	11,39	A
BALSA	0	3,80	a	9,63	abc	20,17	b	35,03	cd
	1	5,20	ab	13,27	c	22,93	b	36,23	cd
	2	5,07	ab	11,10	abc	18,67	b	32,53	c
	3	5,93	ab	11,67	bc	19,50	b	32,13	c
	4	5,27	ab	13,00	bc	20,47	b	32,93	c
	5	4,97	ab	12,00	bc	22,40	b	37,27	d
	PROMEDIO		5,04	A	11,78	B	20,69	B	34,35
MELINA	0	16,80	c	30,67	d	40,07	c	51,10	f
	1	16,37	c	29,23	d	38,83	c	50,50	ef
	2	15,40	c	32,00	d	40,00	c	48,33	ef
	3	15,70	c	31,00	d	40,50	c	52,00	f
	4	15,07	c	28,13	d	37,77	c	46,93	e
	5	16,17	c	30,07	d	40,10	c	51,33	f
	PROMEDIO		15,92	C	30,18	C	39,54	C	50,03
CV(%)		10,99		9,27		6,93		4,16	
DMS		3,18		4,86		5,04		4,13	

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la Prueba de Tuckey (P>0,05). Letras mayúsculas diferentes, muestran efectos entre especies.

Las aplicaciones de dosis crecientes de enmiendas (Tabla 4), presentaron efectos estadísticos significativos en el cuarto mes de evaluación, no así en los primeros tres meses. Respecto al tratamiento testigo, se consiguió incremento de altura de planta de 6,04%, con aplicación de 1 y 5 t ha⁻¹ de CaCO₃, siendo que, con las dosis intermedias, los valores de altura fueron menores al testigo.

Tabla 4. Valores promedio de altura de planta (cm), de tres especies forestales, por efecto de aplicación de dosis crecientes de CaCO₃

CaCO ₃	MESES			
	1	2	3	4
t ha⁻¹				
		cm		
0	8,72	15,68	22,72	31,62 abc
1	9,54	17,22	24,48	33,53 d
2	9,18	17,17	22,69	30,57 ab
3	9,92	17,57	23,77	32,30 bcd
4	9,12	16,51	22,57	30,18 a
5	9,40	17,23	24,32	33,53 d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

4.2.2. Diámetro de tallo

En la tabla 5 se presentan los valores promedios de diámetro de tallo para cada uno de los tratamientos, expresados en milímetros.

En esta variable se observaron diferencias estadísticas significativas en el primer y cuarto mes de edad, registrando valores promedio de diámetro de tallo para melina de 2,75 y 8,72 mm en el primero y cuarto mes respectivamente, que supera estadísticamente a balsa en 1,22 mm y 2,78 mm a la Teca, en su orden.

Según Prieto *et al.* (2009), indican que las plantas con un diámetro superior a 5 mm son más tolerantes al doblamiento y resisten mejor a los daños por fauna nociva, variando según la especie; por otro lado, plantas con diámetros más pequeños no son capaces de soportar tallos elongados, siendo sensibles a sufrir daños. No obstante, para Rodríguez (2008), en todos los ambientes las plantas con diámetros más grandes, tienen mayor supervivencia.

Tabla 5. Valores promedios de diámetro de tallo (mm), de tres especies forestales, por efecto de aplicación de dosis crecientes de CaCO₃ en edad de uno a cuatro meses

ESPECIES	CaCO ₃ (t ha ⁻¹)	MESES			
		1	2	3	4
TECA	0	1,83 abc	2,00	2,50	5,67 ab
	1	2,00 abc	2,50	3,00	5,67 ab
	2	2,00 abc	2,67	3,33	5,17 a
	3	2,00 abc	3,00	3,67	7,37 abcd
	4	2,00 abc	3,00	3,67	6,20 abc
	5	2,17 abc	2,83	3,00	5,57 ab
	PROMEDIO		2,00 B	2,67 A	3,20 A
BALSA	0	1,33 a	2,83	4,33	8,73 cd
	1	1,67 ab	3,33	4,83	8,00 bcd
	2	1,33 a	2,83	3,83	7,17 abcd
	3	1,83 abc	2,67	4,00	7,00 abcd
	4	1,67 ab	2,67	4,00	6,67 abcd
	5	1,33 a	2,83	4,33	7,83 bcd
	PROMEDIO		1,53 A	2,86 A	4,22 B
MELINA	0	2,83 c	3,83	4,67	8,13 bcd
	1	2,83 c	4,33	5,33	8,50 cd
	2	2,83 c	4,33	5,50	8,83 d
	3	2,83 c	4,00	5,17	8,73 cd
	4	2,67 bc	4,00	5,33	8,97 d
	5	2,50 bc	4,50	5,67	9,17 d
	PROMEDIO		2,75 C	4,17 B	5,28 C
CV(%)		17,57	25,14	25,37	11,41
DMS		1,14	2,52	3,33	2,62

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la Prueba de Tuckey (P>0,05). Letras mayúsculas diferentes, muestran efectos entre especies.

Sáenz *et al.* (2010), hacen mención al diámetro de tallo como un indicador de la calidad de planta, que permite predecir en gran medida la supervivencia en campo; que, según este autor, muchos estudios demuestran que plántulas con diámetro mayor tienen tasas de supervivencia alta.

Los diámetros de tallo de esta investigación, resultaron menores a los registrados por Reyes *et al.* (2015), quienes reportan para melina valores de 8,76 mm a los 75 días de edad de las plantas; sin embargo, esta variación se atribuye a que este autor evaluó la interacción entre tipos de sustratos con abonos orgánicos, teniendo un desarrollo acelerado de plantas de melina en menos tiempo.

En los datos de la tabla 5 se evidencia el incremento del diámetro de tallo en plantas de teca, melina y balsa durante los cuatro meses de evaluación de variables morfológicas, que al igual que en la variable altura de planta, melina tiene un mayor crecimiento que está relacionada directamente con la robustez de la especie.

De forma numérica, respecto al tratamiento testigo, las diferencias encontradas por la aplicación de 3 y 5 t ha⁻¹ CaCO₃ fueron de 29,98% y 12,79%, para teca y melina, respectivamente; sin embargo, en melina se observaron respuestas hasta con aplicación de dosis bajas de enmienda.

En la tabla 6 se observa que los promedios de diámetro de tallo de las especies evaluadas no mostraron diferencias estadísticas significativas por la aplicación de dosis de CaCO₃, probablemente hubo dilución del efecto, en vista de que para balsa no se encontraron diferencias estadísticas.

Tabla 6. Variación en el promedio de diámetro de tallo (mm) de tres especies forestales, por efecto de aplicación de dosis crecientes de CaCO₃

CaCO ₃	MESES			
	1	2	3	4
t ha ⁻¹				
0	2,00	2,89	3,83	7,51
1	2,17	3,39	4,39	7,39
2	2,06	3,28	4,22	7,06
3	2,22	3,22	4,28	7,70
4	2,11	3,22	4,33	7,28
5	2,00	3,39	4,33	7,52

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

4.2.3. Número de hojas

En la tabla 7 se presenta los valores promedios del número de hojas obtenidas en las tres especies evaluadas, observando diferencias estadísticas altamente significativas durante las cuatro evaluaciones mensuales realizadas; donde, melina presenta valores superiores a teca y balsa; esto se explica porque son plantas de desarrollo más acelerado. Para el cuarto mes, las plantas de melina alcanzaron un número de hojas promedio de 21,83, que supera en 51,2 % y 25,5 % a teca (14,44 hojas) y balsa (17,39 hojas), en su orden.

Tabla 7. Promedio de número de hojas por planta de tres especies forestales, por efecto de aplicación de dosis crecientes de CaCO₃, en edad de uno a cuatro meses

ESPECIES	CaCO ₃ (t ha ⁻¹)	MESES			
		1	2	3	4
TECA	0	6,67 a	10,00 a	11,67 a	13,67 a
	1	6,33 a	9,33 a	11,67 a	14,00 a
	2	7,67 ab	9,67 a	11,33 a	14,00 a
	3	8,00 abc	9,67 a	12,00 a	14,33 ab
	4	7,33 ab	10,00 a	12,00 a	15,33 ab
	5	7,33 ab	9,33 a	12,00 a	15,33 ab
	PROMEDIO		7,22 A	9,67 A	11,78 A
BALSA	0	6,33 a	9,33 a	14,00 ab	17,00 abcde
	1	7,33 ab	10,33 ab	14,00 ab	16,67 abcd
	2	6,67 a	9,67 a	12,00 a	16,67 abcd
	3	7,33 ab	10,00 a	15,00 ab	19,33 bcdef
	4	7,00 ab	9,00 a	12,00 a	16,00 abc
	5	7,67 ab	10,00 a	14,00 ab	18,67 abcde
	PROMEDIO		7,06 A	9,72 A	13,50 B
MELINA	0	10,67 bc	16,67 c	19,33 cd	22,00 ef
	1	10,67 bc	16,00 c	18,67 bcd	21,67 def
	2	10,00 abc	17,33 c	20,00 d	21,33 def
	3	11,67 c	19,33 c	22,00 d	24,33 f
	4	9,33 abc	15,33 bc	18,00 bcd	21,00 cdef
	5	9,33 abc	16,00 c	19,33 cd	20,67 cdef
	PROMEDIO		10,28 B	16,78 B	19,56 C
CV(%)		15,35	13,75	10,28	9,51
DMS		3,90	5,15	4,77	5,28

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la Prueba de Tuckey (P>0,05). Letras mayúsculas diferentes, muestran efectos entre especies.

En la tabla 8, se aprecia que existió diferencias estadísticas por efecto de las enmiendas solo durante el tercer mes de evaluación, con 3 t ha⁻¹ de CaCO₃, alcanzó 1,33 hojas más. Por otra parte, en la tabla 7 se observó que todas las especies experimentaron incrementos de número de hojas; siendo que, respecto al testigo, en teca se elevó en 12,2 %, en balsa 13,7 % y melina 10,6 % el número de hojas. Esta variable cobra su importancia por lo expresado por Ramírez (2017), quien menciona que las características morfológicas que

denotan baja calidad de planta son la escasez de follaje, síntomas de daños mecánicos (roturas), torceduras, follaje amarillento y pequeñez, tamaño muy grande y clorosis o alteraciones relacionadas con deficiencias nutrimentales.

Tabla 8. Valores promedio de número de hojas, de tres especies forestales, por efecto de aplicación de dosis crecientes de CaCO₃

CaCO ₃ t ha ⁻¹	MESES			
	1	2	3	4
0	7,89	12,00	15,00	ab 17,56
1	8,11	11,89	14,78	ab 17,44
2	8,11	12,22	14,44	ab 17,33
3	9,00	13,00	16,33	b 19,33
4	7,89	11,44	14,00	a 17,44
5	8,11	11,78	15,11	ab 18,22

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

4.2.4. Peso húmedo y seco de parte aérea, radicular y área foliar.

En la tabla 9 se presentan los valores promedios de biomasa de teca, balsa y melina, a las que se les retiró el sustrato adherido mediante el lavado en agua y se aplicó el método destructivo para registrar datos de las variables en húmedo y seco de la parte aérea, radical y área foliar.

Tabla 9. Valores promedio de peso y área foliar, de tres especies forestales, por efecto de aplicación de dosis crecientes de CaCO₃

ESPECIES	CaCO ₃	PESO HÚMEDO		PESO SECO		PESO HÚMEDO		PESO SECO		ÁREA FOLIAR
		PARTE AÉREA	g	PARTE AÉREA	g	PARTE RADICULAR	g	PARTE RADICULAR	g	
TECA	(t ha ⁻¹)	g		g		g		g		cm ²
	0	8,04	a	5,31	a	6,94	abcd	3,80	bcde	221,21 a
	1	11,74	a	8,64	ab	9,01	bcdef	4,39	defg	370,72 bc
	2	7,66	a	5,09	a	5,11	ab	3,31	abcd	255,74 ab
	3	9,56	a	6,56	ab	8,02	abcde	3,99	cdef	263,29 ab
	4	9,93	a	7,12	ab	6,08	abc	3,27	abcd	345,57 ab
	5	9,94	a	6,75	ab	5,82	abc	3,07	abcd	288,16 ab
PROMEDIO		9,48	A	6,58	A	6,83	A	3,64	B	290,78 A
BALSA	0	23,81	bcd	10,46	b	6,85	abcd	2,51	abc	278,43 ab
	1	21,73	bcd	8,90	ab	5,94	abc	2,60	abcd	236,20 a
	2	19,11	b	7,96	ab	4,68	a	1,96	ab	303,04 ab
	3	20,85	b	8,21	ab	4,96	a	1,87	a	309,62 ab
	4	20,38	b	8,14	ab	6,26	abcd	2,00	ab	280,48 ab
	5	24,15	bcd	10,19	b	5,97	abc	2,40	abc	292,91 ab
	PROMEDIO		21,67	B	8,98	B	5,78	A	2,22	A
MELINA	0	28,23	c	15,32	c	9,30	cdef	5,23	efg	508,74 d
	1	27,88	de	15,32	c	11,00	ef	5,34	efg	527,59 d
	2	27,84	cde	15,93	c	11,84	ef	5,63	efg	490,46 cd
	3	31,60	e	17,97	c	12,50	f	5,52	efg	530,20 d
	4	28,41	de	16,60	c	10,19	def	5,99	g	520,13 d
	5	31,42	e	16,74	c	11,88	ef	5,82	fg	512,51 d
	PROMEDIO		29,23	C	16,31	C	11,12	B	5,59	C
CV(%)		11,23		13,90		16,18		15,79		11,78
DMS		7,02		4,58		3,97		1,87		132,88

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la Prueba de Tuckey (P>0,05). Letras mayúsculas diferentes, muestran efectos entre especies.

El peso húmedo de la parte aérea para melina, alcanzó un valor promedio de 29,23 g y el menor en teca con 9,48 g; la misma tendencia se registró en el peso seco, en la que melina presenta 16,31 g, alcanzando los valores más altos en peso de materia seca. Las diferencias alcanzadas fueron de 208,33 % y 147,87 %, entre las dos especies, en su orden.

El peso húmedo radicular presenta similar tendencia con un promedio máximo en la melina de 11,12 g y el menor en balsa con 5,78 g; estos valores se corresponden con el peso seco radicular, donde melina registra el promedio máximo de 5,59 g y balsa 2,22 g, diferencia de 151,80 %.

Según Vera (1995) y Prieto *et al.* (2003); señalan que la biomasa de las plantas tiene una fuerte correlación con la supervivencia en campo y sugiere que para

mayor consistencia en los resultados se deben manejar los valores de peso seco, debido a que el peso en verde tiene gran variación de agua en los tejidos dentro de una misma especie.

Por otra parte, en la tabla 9 se muestra los valores promedios del área foliar, donde melina con 514,94 cm² constituye la especie con mayor área foliar y la menor balsa con promedio de 283,45 cm². Melina en respuesta a todas las variables morfológicas evaluadas siempre fue superior en tamaño a las otras especies, su área foliar expresa la misma tendencia a mayor densidad foliar mayor área. Por otro lado, la teca es la especie que mejor respuesta presenta a las dosis de CaCO₃ aplicadas, encontrando incrementos en todas las variables; seguido de melina; en tanto que para balsa hay respuesta solo en área foliar.

Para Shibles (1978), el área foliar es una medida habitual del tejido fotosintetizador de un grupo de plantas, que es importante para establecer la cantidad o aporte de energía solar que es absorbida y convertida en materiales orgánicos.

4.3 Índices morfológicos

En la tabla 10 se muestran los valores obtenidos de las variables considerados como indicadores de calidad de planta.

4.3.1. Índice de robustez

El índice de robustez relaciona la altura de planta y el diámetro del tallo, que presenta un valor adecuado en las tres especies según lo indicado como referencia por Rodríguez (2008), pues es menor a seis (Tabla 10). En este indicador de crecimiento potencial y resistencia de la planta a la desecación por el viento, destaca la planta de teca con índice promedio de 1,96; en tanto que, los valores encontrados con balsa y melina fueron de 4,59 y 5,77, respectivamente. Para esta variable Santiago et al. (2007) y Thompson (1985)

recomiendan que mientras menor sea el valor de la relación para especies tropicales, habrá mayor vigor en la planta. La distribución de frecuencias del índice de robustez en las tres especies muestra alta heterogeneidad, por lo que existe una diferencia estadística altamente significativa. Solo en melina fue mejorado el índice de robustez por efecto de la aplicación de CaCO_3 , reduciendo en el mejor de los casos de 6,28 a 5,24 (19,85 %) con 4 t ha^{-1} .

Tabla 10. Valores promedio de Índices morfológicos, de tres especies forestales, por efecto de aplicación de dosis crecientes de CaCO_3

ESPECIE	CaCO_3 (t ha^{-1})	INDICE DE ROBUSTEZ (IR)		INDICE DE CALIDAD DE DICKSON (ICD)		RELACION PARTE AÉREA Y RADICAL (RAR)		INDICE DE LIGNIFICACIÓN (IL)	
									%
TECA	0	1,55	a	3,10	d	1,41	a	60,80	c
	1	2,46	a	2,93	d	2,02	ab	63,13	c
	2	2,10	a	2,31	bcd	1,56	a	65,89	c
	3	1,73	a	3,12	d	1,63	a	59,93	c
	4	1,81	a	2,65	d	2,18	abc	65,34	c
	5	2,13	a	2,24	bcd	2,23	abc	61,88	c
PROMEDIO		1,96	A	2,73	B	1,84	A	62,83	C
BALSA	0	4,03	b	1,59	abc	4,22	d	42,19	ab
	1	4,55	bc	1,42	ab	3,61	bcd	41,39	ab
	2	4,63	bc	1,15	a	4,05	cd	41,46	ab
	3	4,63	bc	1,12	a	4,36	d	38,11	a
	4	4,95	bcde	1,12	a	4,06	cd	37,80	a
	5	4,76	bcd	1,38	ab	4,44	d	41,91	ab
PROMEDIO		4,59	B	1,30	A	4,12	C	40,48	A
MELINA	0	6,28	e	2,23	bcd	2,98	abcd	54,93	bc
	1	5,98	de	2,34	bcd	2,90	abcd	53,44	bc
	2	5,50	cde	2,60	cd	2,85	abcd	54,35	bc
	3	5,98	de	2,55	cd	3,31	abcd	53,29	bc
	4	5,24	bcde	2,81	d	2,81	abcd	58,80	c
	5	5,65	cde	2,65	d	2,89	abcd	52,26	abc
PROMEDIO		5,77	C	2,53	B	2,96	B	54,51	B
CV (%)		10,48		15,15		21,36		8,91	
DMS		1,34		1,03		1,97		14,56	

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la Prueba de Tuckey ($P>0,05$). Letras mayúsculas diferentes, muestran efectos entre especies.

4.3.2. Índice de calidad de Dickson

Este es el índice de calidad que mejor permite evaluar las diferencias morfológicas entre plantas (calidad de planta) y predecir el comportamiento de las mismas en el campo (Dickson *et al.*, 1960).

Las plantas que obtuvieron mayor valor promedio de índice de calidad corresponden a teca (2,73) y el menor valor se registró con balsa (1,30), siendo estadísticamente diferentes. Tanto para teca y balsa la interacción con dosis de enmienda, provocó disminución en el índice, contrario al sucedido para melina, donde el CaCO₃, provocó incremento en el valor de esta variable.

En estudio realizado por Sáenz, R. *et al.* (2010) en calidad de plantas en viveros forestales, reporta rangos de calidad de Dickson que van de 0,2 a 0,5 en el que se incluyeron categorías de calidad, siendo que con valores menores a 0,2 son considerados de calidad baja, entre 0,2 y 0,5 de calidad media y mayores de 0,5 de calidad alta.

4.3.3. Relación parte aérea y parte radical (RAR)

En la Tabla 10 se aprecia que, en dos de las tres especies evaluadas, los valores promedios de la relación parte aérea/raíz fueron mayores a 2,5 para balsa y melina, manifestando que la parte aérea es mayor que la parte radical; evidenciando una desproporción, donde el sistema radicular es insuficiente para proveer de nutrientes a la parte aérea de la planta, además de reducir su capacidad para adaptarse a ambientes estresantes (Prieto *et al.* 2009).

Los valores promedios obtenidos para teca 1,84, balsa 4,12 y melina 2,96 reflejaron diferencias altamente significativas. En los datos obtenidos se puede observar para las tres especies evaluadas que su peso aéreo es superior a su peso radicular, tanto en húmedo como en seco. Para que exista una buena

relación los valores deben fluctuar entre 1,5 y 2,5 (Thompson, 1985), siendo la teca la que se acerca más a este valor.

La producción de biomasa es importante debido a que refleja el crecimiento de la planta en vivero (Rodríguez, 2008); el cociente obtenido en esta relación no debe ser mayor a 2,5, sobre todo cuando la precipitación es limitada en los sitios de plantación (Prieto *et al.*, 2003). Mientras menor valor se alcancen en las especies tropicales, serán más vigorosas las plantas (Santiago *et al.* 2007).

4.3.4. Índice de lignificación

Este índice se basa en expresar el porcentaje de peso seco, con relación al contenido de agua en las plantas, lo cual manifiesta el nivel de pre-acondicionamiento de las plantas; según Prieto *et al.*, (2009), la importancia de este índice es debido a que la lignificación del tallo suministra soporte a la planta, ante el estrés hídrico, cambios ambientales, favoreciendo además su establecimiento en el campo; es decir, ejecuta variadas funciones que son principales para la vida de las plantas.

En los datos obtenidos se observa una alta diferencia significativa entre especies donde balsa refleja los valores más bajos de lignificación con un promedio de 40,48 % y los valores más altos con teca con un valor promedio de 62,83 %. El porcentaje de lignificación se relaciona directamente con la calidad y la dureza de los tejidos y concentraciones altas indica mayor resistencia ante daños físicos. Las concentraciones altas expresan que los tallos de las plantas son menos suculentos y más lignificados (rígidos) presentando mejores posibilidades de adaptación a su sitio definitivo, siendo menos susceptibles a la deshidratación y ataque de enfermedades y plagas (Santiago & Sánchez, 2007).

Durante la fase de pre acondicionamiento es necesario disminuir el suministro de agua para provocar el estrés de las plantas, lo cual contribuye a reducir el

crecimiento en altura, promueve la aparición de la yema apical y se inician mecanismos de resistencia a sequías y bajas temperaturas (Prieto et al., 2004), que favorece el endurecimiento y la lignificación del tallo. La lignina es un componente fundamental de la pared celular e interviene en el proceso de ligamiento de las células vegetales (Torralba, 1997).

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De los resultados obtenidos en la investigación, se puede concluir que:

- ✓ Existe relación positiva entre las dosis de CaCO_3 y el incremento del pH del suelo.
- ✓ Las especies evaluadas, no presentaron respuesta similar a las aplicaciones de CaCO_3 en las características morfológicas y de calidad
- ✓ La melina fue la especie que mejor comportamiento presentó en la etapa de vivero, presentando mejores respuestas a la aplicación de CaCO_3 en tres de los cuatro índices evaluados.
- ✓ Si bien las especies no se vieron influenciadas claramente en su desarrollo por los tratamientos de CaCO_3 usados, se obtuvieron plantas con características morfológicas de tamaño excelente para ser usados en un sistema de producción tradicional.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Realizar nuevos estudios utilizando dosis de CaCO_3 más altas, para obtener mayor información sobre los factores morfológicos y la influencia del tratamiento sobre ellos.
- ✓ En estudios posteriores considerar que la sola aplicación de CaCO_3 al sustrato no será suficiente para determinar calidad en las plantas; realizar combinaciones con tratamientos de fertilización.
- ✓ Realizar estudios posteriores al trasplante definitivo de las especies y corroborar si su calidad inicial incide en el desarrollo de las plantas establecidas.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A. y Fallas, J. 2004. La Saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. Nota Técnica. Agronomía Costarricense 28(1): 81 – 87.
- Álvarez, E., Viadé, A., & Fernández-Marcos, M. L. (2009). Effect of liming with different sized limestone on the forms of aluminium in a Galician soil (NW Spain). *Geoderma*, 152(1-2), 1-8.
- Anstey, C. 1971. Survival and growth of 1/10 radiata pine seedling. *N.Z.J. For.* 16 (1):77-81.
- Arias, A. 2007. Suelos tropicales. Primera edición, EUNED, Capítulo 4. Propiedades del suelo. San José de Costa Rica, p 63.
- Barradas, V; H. Jones y J. Clark. 1999. Leaf orientation and distribution in a *Phaseolus vulgaris* L. crop and their relation to light microclimate. *Int J Biometeorol.* Volumen 43, pp 64 – 70.
- Blake, J.I.; L.D. Teeter and D. B. South. 1989. Analysis of the economic benefits for increasing uniformity in Douglas-fir nursery stock: In: Mason W. L.; J. D. Deans and S. Thompson (eds). Producing Uniform Conifer planting stock. *Forestry Suppl.* Vol. 62: 251-262.
- Castro, H.; Gómez, M. 2010. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. *Ciencia del suelo, principios básicos.* pp. 77-137.
- Delgadillo, R; Aldunate, J; Alvarado, A. 1991. Situación de la agroforestería en el subtrópico húmedo de la región del Chapare, Bolivia, pp. 257–263. In: T.J. Smyth, W.R. Raun y F. Bertch (eds.). *Manejo de suelos tropicales en latinoamérica.* NCSU/CIMMYT/UCR/USAID. San José, Costa Rica.
- Dickson, A., A. L. Leaf and I. E. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white in seedlings stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36: 10-13.
- Ecuador Forestal. 2012. Fichas Técnicas de Especies Forestales. Ficha Técnica N°1. Disponible en: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-1-teca/>
- Ecuador Forestal. 2012. Fichas Técnicas de Especies Forestales. Ficha Técnica N°3. Disponible en: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-3-melina/>

- Ecuador Forestal. 2012. Fichas Técnicas de Especies Forestales. Ficha Técnica N° 7. Disponible en: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-7-balsa/>
- FAO. (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. Manual preparado por el grupo de cultivos hortícolas dirección de producción y protección vegetal. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-s8630s.pdf>.
- Fierros, G., A. M.; Rodriguez T., D. A.; Leyva, A. L.; Vargas C., R.; Sosa C., V. Ejecución de proyectos de plantaciones. In: SOSA C., V. E.; FIERROS G., A. M. (COORDS). 2001. Curso de especialización en plantaciones forestales comerciales. Consultora Forestal y Agropecuaria S. A. de C. V. (CONFORA). México. pp. 71-246.
- García, M. A. 2007. Importancia de la calidad del plantín forestal. In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. 10 p.
- González, M. E.; Donoso, C. y Escobar, B. 1996. Efecto de distintos regímenes de manejo radicular en el crecimiento de plantas de raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oerst.) 1-0 a raíz desnuda. Instituto de Silvicultura. Universidad Austral de Chile. Casilla 567, Valdivia, Chile.
- Ibañez, J. 2007, Biodisponibilidad de los nutrientes por las plantas, pH del suelo y el complejo de cambio o absorbente. Los suelos y la vida, CSIC-Universidad de Valencia. España. p4.
- Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Libro.
- MAG (Ministerio de Agricultura, Ecuador), 2014. Programa de Incentivos para la reforestación con Fines Comerciales. Folleto-PIF-2014.
- Malagón, D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos -Énfasis en génesis y aspectos ambientales- Rev. Academia. Colombiana de. Ciencias. 27(104): 319-341.
- Mc Tiernan, K. B., M. Coûteaux M., B. Berg., M. P. Berg, R. Calvo De Anta, A. Gallardo, W. P. Kratz. J. Remacle. and A. Virzo. 2003. Changes in chemical composition of *Pinus sylvestris* needle litter during decomposition along European coniferous climatic transect. Soil Biol. Biochem. 35: 801-812. Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. México. 110 p.
- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology. 59. 465-472.

- Mexal, J. G. and Landis T. D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Target seedlings symposium. Gen. Tech. Rep. USDA Forests. 13:105-119.
- Molina E. 1998. Encalado para corrección de la acidez del suelo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José de Costa Rica. 45 p.
- Montero M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis de maestría, Universidad Austral de Chile, Valdivia/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- Mullin, R. E., and J. Swaton. 1972. A grading study whit white spruce nursery stock. For. Rev. 51(1):62-69.
- Obregón, C. 2005. *Gmelina arborea* Versatilidad, Renovación y Productividad Sostenible para el Futuro Bogotá – Colombia 20 p.
- Orozco G.; Muñoz J.; Villaseñor F.; Rueda A.; Sígala J.; Prieto J.; García J. 2010. Diagnóstico de la Calidad de planta en los Viveros Forestales del Estado de Colima. Rev. Mex. Cien. For. Vol. 1 Núm. 2.
- Osorno, H. 2012. Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia. Tesis M.Sc. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 11 - 24 p.
- Pérez, J; Bornemisza, E; Sollins, P. 1993. Identificación de especies forestales acumuladoras de aluminio en una plantación experimental ubicada en Sarapiquí, Costa Rica. Agronomía Costarricense 17(12): 99-104.
- Prieto, R. J. A., Vera C. G. y Merlín B. E. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico Núm. 12. Primera reimpresión. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAPSAGARPA. Durango, México. 24 p.
- Prieto R., J. A. 2004. Factores que influyen en la producción de planta de *Pinus* sp., en vivero y en su establecimiento en campo. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. 110 p.
- Prieto, R. J. A.; García R. J. L.; Mejía B. J. M.; Huchín A. S. y Aguilar V. J. L. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 48 p.
- Ramírez J., G. 2017. Desarrollo en etapa de vivero de *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. sometida a tres dosis de fertilización y dos sustratos. Cultivos tropicales 38(2): 45-52.

- Reyes, J; Pimienta de la Torre, D; Rodríguez, J; Fuentes, M y Palomeque, E. 2015. Calidad de planta de *Gmelina arborea* Roxb. Producida con diferentes mezclas de sustratos en vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 9 (47).
- Rodríguez Trejo, DA. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa. México, D. F. México. 156 p.
- Rueda, A; Benavides, J; Prieto, A; Sáenz, T; Orozco, G; Molina, A. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. Rev. Mex. Cien. For. Vol. 3 Núm. 14.
- Sáenz, R; J.T; Villaseñor, R; F.J; Muñoz, F; H.J; Rueda, S. A; Prieto, R; J.A. 2010 Calidad de plantas en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No.17. Michoacán, México. 4
- Santiago, O., T; Sánchez, Monsalvo V. Monroy R. C., García S. G. 2007. Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Folleto técnico Núm. 44. Veracruz, México. 73 p.
- South, D.B. and J.G. Mexal. 1984. Growing the "best" seedling for reforestation success. Southern Forest Nursery Management Cooperative, Auburn, Ala. Rep. No. 6. 25 p.
- Thompson, B. 1985. Seeling morphological evaluation. What can you tell by looking. In: Evaluating seeling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test. M. L. Durges. Forest Research Laboratory. Oregon State University. 59-65.
- Toledo, 2016. Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos. Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola (UE/IICA). Tegucigalpa, Honduras. Primera Edición. 39 p.
- Toral I., M. 1997. Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. SEDER., Fundación Chile, Consejo Agropecuario de Jalisco. Guadalajara, Jal., México. 28 p.
- Tsuji, G., G. Uehara and S. Balas. 1994. DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 244 p.
- Vallejos B. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafomórficas y foliares para *Tectona grandis* L.F.,

- Bombacopsis quinata* (jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- Vera C., J. A. G. 1995. The influence of antidesiccants on field performance and physiology of 2+0 ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl.) seedlings. Ph.D. Thesis. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. 134 p.
- Viana, J.H.M. Análise de imagens micropedológicas com utilização do programa Quantpore e sua aplicação ao estudo de umedecimento e secagem em amostras de Latossolos. Viçosa, MG: UFV, 2001, 70 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- Villar, P; Peñuelas, J y Carrasco, I. 2000. Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta de *Pinus pinea*. Vol. 1: 211 – 218.
- Whetten, R. W., J. J. Mackay and R. R. Sederoff. 1998. Recent advances in understanding lignin biosynthesis. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.
- Zapata, R. 2004. Química de la acidez del suelo. Corrección de la toxicidad por aluminio en el suelo. Primera Edición. pp. 125-175
- Zobel, B. J.; R. E. Goddard and F. C. Cech. 1957. Outstanding nursery seedlings. Texas Forest Serv., College Station. Res. Note No. 18. 14 p.

ANEXOS

Anexo 1. CERTIFICADO URKUND

Quevedo, 27 de febrero de 2020

Ing. Roque Vivas Moreira
DECANO DE LA UNIDAD DE POSGRADO
Presente. –

Estimado Director, informo a usted que el proyecto de investigación de la Ing. Wendy Casanova Muñoz, titulado "VARIACIONES MORFOLÓGICAS DE TECA (*Tectona grandis* Linn. F.), Balsa (*Ochroma pyramidale* Cav. Ex Lam.) Y MELINA (*Gmelina arborea* Roxb) POR EFECTO DE pH DEL SUELO EN ETAPA DE VIVERO"; fue analizado mediante la herramienta antiplagio URKUND, la misma que emitió un porcentaje de 8%.

URKUND

Documento [TESIS MAESTRÍA 26 febrero 2020 FINAL.doc](#) (D64502552)

Presentado 2020-02-26 16:43 (-05:00)

Presentado por MANUEL DANILO CARRILLO ZENTENO (mcarrillo@ute.edu.ec)

Recibido mcarrillo.ute@analysis.orkund.com

8% de estas 24 páginas, se componen de texto presente en 10 fuentes.

Atentamente


Manuel Danilo Carrillo Zenteno Ph.D
DIRECTOR DE PROYECTO

Anexo 2. ADEVAS y medias de las variaciones morfológicas de las tres especies en su última evaluación a los cuatro meses de

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS		
		ALTURA DE PLANTA (cm)	DIÁMETRO DE TALLO (mm)	NÚMERO DE HOJAS
Total	53			
Tratamientos	5	17,57 *	0,45 ns	5,42 ns
Especies	2	6799,96 **	35,20 **	249,06 **
Repeticiones	2	0,36 ns	0,44 ns	1,17 ns
E.E.	10	8,64 ns	1,74 **	3,21 ns
CV(%)		4,16	11,41	9,51

E.E.= Error Experimental, CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *= significativo, **=altamente significativo

edad. Valores de medias de la cuarta evaluación

Anexo 3. ADEVAS y medias de la biomasa de las especies forestales evaluadas.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS				
		PESO HÚMEDO PARTE AÉREA (g)	PESO SECO PARTE AÉREA (g)	PESO HÚMEDO PARTE RADICULAR (g)	PESO SECO PARTE RADICULAR (g)	ÁREA FOLIAR (cm ²)
Total	53					
Tratamientos	5	13,23 ns	2,79 ns	2,84 ns	0,23 ns	2728,25 ns
Especies	2	1787,70 **	463,14 **	144,08 **	51,40 **	311663,84 **
Repeticiones	2	5,87 ns	1,89 ns	0,62 ns	0,11 ns	635,23 ns
E.E.	10	7,30 ns	4,47 ns	4,95 ns	0,54 ns	4849,01 ns
CV(%)		11,23	13,90	16,18	15,79	11,78

E.E.= Error Experimental, CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *= significativo, **=altamente significativo

Anexo 4. ADEVAS y medias de los índices de calidad de plantas de las especies forestales evaluadas.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS			
		ÍNDICE DE ROBUSTEZ (IR)	ÍNDICE DE CALIDAD DE DICKSON (ICD)	RELACIÓN PARTE AÉREA Y RADICAL (RAR)	ÍNDICE DE LIGNIFICACIÓN (IL)(%)
Total	53				
Tratamientos	5	0,16 ns	0,10 ns	0,21 ns	15,46 ns
Especies	2	68,49 **	10,80 **	23,54 **	2296,79 **
Repeticiones	2	0,26 ns	0,04 ns	0,69 ns	87,20 ns
E.E.	10	0,44 ns	0,30 ns	0,26 ns	14,79 ns
CV(%)		10,48	15,15	21,36	8,91

E.E.= Error Experimental, CV= Coeficiente de variación, ns= no significativo, *= significativo, **=altamente significativo

Anexo 5. Ilustraciones de evaluaciones, aplicación de método destructivo y scanner de área foliar con programa QUANTPORO de los tratamientos en etapa vivero.





