

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



Germinación, desarrollo y calidad de plántulas de especies arbóreas dendroenergéticas
utilizando tipos de sustratos y envases, en etapa de vivero

PROYECTO DE TESIS

Presentado como requisito parcial previo a la realización del trabajo de investigación

Por:

Marvin Antonio Padilla Portillo

Catacamas, Olancho

Agosto 2025

Germinación, desarrollo y calidad de plántulas de especies arbóreas dendroenergéticas
utilizando tipos de sustratos y envases, en etapa de vivero

Por:

Marvin Antonio Padilla Portillo

Oscar I. Ferreira Catrileo, M.Sc.

Director de Tesis

TESIS

presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERIA EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

Catacamas, Olancho

Agosto 2025

ii. ACTA DE SUSTENTACIÓN

iii. DEDICATORIA

A DIOS OMNIPOTENTE Y A LA VIRGEN MARÍA por su amor maternal, por la fuerza la esperanza y el amor que me dan en cada paso de mi vida, ayudándome a no darme por vencido y cubriéndome con su misericordia. Jesús en ti confío.

A MIS PADRES, por su apoyo, consejos y amor inconmensurable, siendo para mí el reflejo del mayor amor en la tierra, gracias por enseñarme que todos los esfuerzos valen la pena.

PARA MIS HERMANAS, son mi pedacito de cielo en la tierra.

A MI FAMILIA, son el pilar fundamental de mi vida que me han enseñado la fraternidad incondicional.

A MIS AMIGOS Y AMIGAS, MIS COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN que son parte de mi vida, siempre estaré eternamente agradecido, gracias por compartir lo bueno y lo malo, por todas las aventuras, lagrimas, desvelos y momentos inolvidables dentro y fuera de la universidad.

A MIS MAESTROS, con especial cariño a los de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN**, por su enseñanza, coraje y amistad.

Con especial cariño a mi Alma Mater Universidad Nacional de Agricultura (**UNAG**) por abrir sus puertas y permitirme lograr culminar mis estudios, gracias.

iv. AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO A DIOS TODO PODEROSO, que por su divina providencia me dio la fortaleza de estar a un paso de culminar mis estudios, brindándome su amor y dándome la fuerza necesaria para afrontar cada desafío, solo te pido Señor, se tu mi refugio, guíame y dame sabiduría al inicio de esta nueva etapa de mi vida.

A MIS PADRES, por todo su apoyo y amor que me brindan, por estar a mi lado en cada momento de mi vida, por ser ese lugar donde siempre hay un espacio para mí, solo puedo decir ¡gracias!

A MIS HERMANAS, por su amor y paciencia.

A MI TÍA PAZ, por su apoyo en cada momento, por su amor y por siempre estar a mi lado.

A mis amigos y amigas, compañeros, hermanos de años, a mi amiga **Paola Mejía** que me hizo descubrir el significado de la amistad en las dificultades, a **Daydy Martínez** por compartir su cariño y amistad incondicional como una hermana y a mi amigo **Derixon Mendoza**, por ser más que un amigo, un hermano.

A mis asesores, por brindarme su conocimiento en especial al master **Ferreira** por hacerme descubrir la pasión por las plantas.

Gracias a cada uno de los que forman parte de mi vida, de mi desarrollo como profesional (Eos in corde meo porto).

CONTENIDO

ii. ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
iii. DEDICATORIA	iii
iv. AGRADECIMIENTOS.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
III. REVISION DE LITERATURA.....	3
4.1. Dendroenergía.....	3
4.2. Importancia de la dendroenergía.....	4
4.3. Importancia de las especies arbóreas.....	4
4.4. Problemática.....	5
4.4.1. Tala de árboles.....	5
4.4.2. Uso de leña en zonas ganaderas.....	5
4.5. Poder calorífico.....	5
4.5.1. Solución al problema de la tala excesiva y las emisiones de CO ²	6
4.6. Identificación de especies con alto potencial energético	6
4.7. Plantas dendroenergéticas en Honduras.....	6
4.7.1. Biscuite (<i>Acacia deamii</i>).....	6
4.7.2. Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>).....	7
4.7.3. Leucaena (<i>Leucaena macrophylla</i>).....	7
4.7.4. Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>).....	7
4.8. Fisiología de las semillas dendroenergéticas.....	8
4.8.1. Fases de la germinación	8
4.8.2. Factores que afectan la germinación	8
4.9. Tipos de sustrato.....	9
4.9.1. Carbón vegetal.....	9
4.9.2. Perlita.....	9
4.9.3. Vermiculita	10
4.9.4. Turba.....	10

4.9.5. Sustrato comercial.....	10
4.9.6. Bocashi.....	10
4.10. Tipos de envases	11
4.10.1. Tubete	11
4.10.2. Bolsa de polietileno	11
4.10.3. Bolsa biodegradable	12
4.11. Beneficios ambientales y económicos.....	12
4.11.1. La dendroenergía y su importancia económica.....	13
IV. MATERIALES Y MÉTODO.....	14
5.1. Ubicación del área de trabajo	14
5.2. Materiales y equipo	15
5.3. Enfoque metodológico.....	16
5.4. Diseño experimental.....	16
5.5. Factores.....	17
5.6. Análisis estadístico.....	20
5.7. Descripción de los tratamientos (Tabla 4).....	21
5.8. Variables a evaluar	21
5.9. Modelo estadístico.....	24
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
6.1. Porcentaje de germinación	26
6.2. Altura de la planta	28
30	
6.3. Diámetro de planta	31
6.4. Área foliar	34
6.5. Número de hojas	37
6.6. Índice de lignificación	40
6.7. Índice de Díckson.....	43
6.8. Índice de esbeltez	46
6.9. Biomasa área y biomasa de raíz.....	49
6.10. Resultados del análisis de los costos económicos de los 4 sustratos y los tres envases	52
VII. CONCLUSIONES.....	54
VIII. RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS.....	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Repeticiones para sustratos con las tres especies y sus combinaciones utilizando el envase de polietileno	17
Tabla 2. Repeticiones para sustratos con las tres especies y sus combinaciones utilizando el envase biodegradable.....	18
Tabla 3. Repeticiones para sustratos con las tres especies y sus combinaciones utilizando el envase tubete	19
Tabla 4. Descripción de los tratamientos que se utilizaron en el experimento.....	21
Tabla 5. Datos del análisis estadístico ANOVA y prueba de media de Teste Scott-Knott al 5%.....	27
Tabla 11. Precio por unidad de una plántula de las tres especies arbóreas con los envases y sus combinaciones de sustratos	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del vivero forestal Sauces, en la Universidad Nacional de Agricultura	14
Figura 2. Porcentaje de germinación de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho	26
Figura 3. Altura media de <i>Leucaena salvadorensis</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	28
Figura 4. Altura de <i>Calliandra calothyrsus</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.29	29
Figura 5. Altura de <i>Mimosa tenuiflora</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	29
Figura 6. Altura en (cm) de; a. <i>Leucaena salvadorensis</i> b. <i>Calliandra calothyrsus</i> c. <i>Mimosa tenuiflora</i> utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	30
Figura 8. Diámetro medio de <i>Calliandra calothyrsus</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres diferentes tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	32
Figura 9. Diámetro medio de <i>Mimosa tenuiflora</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres diferentes tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	32
Figura 10. Diámetro en (cm) de; a. <i>Leucaena salvadorensis</i> b. <i>Calliandra calothyrsus</i> c. <i>Mimosa tenuiflora</i> utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	33

Figura 11. Media del área foliar de <i>Leucaena salvadorensis</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	34
Figura 12. Área foliar de <i>Calliandra calothyrsus</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	35
Figura 13. Área foliar de <i>Mimosa tenuiflora</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	35
Figura 14. Promedio de área foliar en (cm ²) de; a. <i>Leucaena salvadorensis</i> b. <i>Calliandra calothyrsus</i> c. <i>Mimosa tenuiflora</i> utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%	36
Figura 15. Media del número de hojas de <i>Leucaena salvadorensis</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	37
Figura 16. Media del número de hojas de <i>Calliandra calothyrsus</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	38
Figura 17. Media del número de hojas de <i>Mimosa tenuiflora</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	38
Figura 18. Promedio del número de hojas de; a. <i>Leucaena salvadorensis</i> b. <i>Calliandra calothyrsus</i> c. <i>Mimosa tenuiflora</i> utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%	39
Figura 19. Índice de lignificación de <i>Leucaena salvadorensis</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	40

Figura 20. Índice de lignificación de <i>Calliandra calothyrsus</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	40
Figura 21. Índice de lignificación de la <i>Mimosa tenuiflora</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases, en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	41
Figura 22. Índice de lignificación de; a. <i>Leucaena salvadorensis</i> b. <i>Calliandra calothyrsus</i> c. <i>Mimosa tenuiflora</i> utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	42
Figura 23. Media del índice de dickson de <i>Leucaena salvadorensis</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	43
Figura 24. Índice de Dickson para <i>Calliandra calothyrsus</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	43
Figura 25. Índice de Dickson para <i>Mimosa tenuiflora</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	44
Figura 26. Promedio del índice de dickson de; a. <i>Leucaena salvadorensis</i> b. <i>Calliandra calothyrsus</i> c. <i>Mimosa tenuiflora</i> utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%	45
Figura 27. Índice de esbeltez de la especie <i>Leucaena salvadorensis</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	46
Figura 28. Índice de esbeltez de <i>Calliandra calothyrsus</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	46

Figura 29. Índice de esbeltez de <i>Mimosa tenuiflora</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	47
Figura 30. Promedio del índice de esbeltez de; a. <i>Leucaena salvadorensis</i> b. <i>Calliandra calothyrsus</i> c. <i>Mimosa tenuiflora</i> utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%	48
Figura 31. Biomasa aérea y biomasa de raíz de la especie <i>Leucaena salvadorensis</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.	49
Figura 32. Biomasa aérea y biomasa de raíz de <i>Calliandra calothyrsus</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.	50
Figura 33. Biomasa aérea y biomasa de raíz de <i>Mimosa tenuiflora</i> , utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.....	50
Figura 34. Promedio de biomasa aérea y biomasa de raíz de; a. <i>Leucaena salvadorensis</i> b. <i>Calliandra calothyrsus</i> c. <i>Mimosa tenuiflora</i> utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.	51

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para diámetro de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	68
Anexo 2. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para altura de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	70
Anexo 3. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para No. De hojas de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	72
Anexo 4. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para área foliar de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	74
Anexo 5. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para índice de lignificación de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	76
Anexo 6. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para biomasa de raíz de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	78
Anexo 7. Prueba estadística ANOVA mediante el Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para el índice de dickson de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	80
Anexo 8. Prueba estadística ANOVA mediante el Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para la biomasa aérea y biomasa de raíz de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	82
Anexo 9. Prueba estadística ANOVA mediante el Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para el índice de esbeltez de <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	84
Anexo 10. Preparación de areneros para la germinación de las especies <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i> .	86

Anexo 11. Proceso de siembra de las semillas de las especies <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i>	87
Anexo 12. Germinación de las semillas de las especies <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i>	88
Anexo 13. Elaboración de sustratos (biochar, aserrín, turba y suelo).....	92
Anexo 14. Instalación de infraestructura, llenado de envases y elaboración de tratamientos	96
Anexo 15. Establecimiento del experimento completamente al asar	99
Anexo 16. Cuantificación del desarrollo de las especies <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i>	101
Anexo 17. Evaluación de la calidad de las especies <i>Leucaena salvadorensis</i> , <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>Mimosa tenuiflora</i>	104

Germinación, desarrollo y calidad de plántulas de especies arbóreas dendroenergéticas utilizando tipos de sustratos y envases, en etapa de vivero. Marvin Antonio Padilla Portillo. Tesis Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas Olancho, Honduras. 122 páginas.

RESUMEN

En este estudio se evaluó la germinación, el desarrollo y la calidad de tres especies arbóreas con potencial dendroenergético en el vivero Sauces de la Universidad Nacional de Agricultura las cuales fueron: *Leucaena* (*Leucaena salvadorensis*), barba de gato (*Calliandra calothyrsus*) y carbón (*Mimosa tenuiflora*). Utilizando tres tipos de envases; bolsa de polietileno de 5* 6 cm. Tubetes con un volumen de 400 cm³, con un diámetro superficial de 5,6 cm, un diámetro inferior de 1,4 cm, con una altura de 19,5 cm y un peso de 40 grs. Bolsa biodegradable importadas de 16*18 cm. Cuatro tipos de sustratos; S1: 40% bocashi, 40% biocarbón, 20% suelo (265.9 kg), S2: 46.67% bocashi, 14% fertilizante, 13.33% biochar, 23.33% aserrín descompuesto, 2.67% suelo (545.45 kg), S3: 70% turba, 30% suelo (236.82 kg), sustrato 4: 100 % suelo sin modificaciones (250 kg). Dicha investigación se desarrolló en tres etapas, la primera parte se evaluó el porcentaje de germinación en semilleros con arena, utilizando procesos pregerminativo. En la segunda fase se realizó el repique de las plántulas a los tres envases, se midió las variables tal como el diámetro resultando mejor la *Calliandra* con el envase polietileno y sustrato suelo, la altura con *Leucaena* con tubete-suelo, número de hojas con *Leucaena* biodegradable-turba, área foliar con *Leucaena* polietileno-turba, lignificación con *Mimosa* biodegradable-suelo, biomasa aérea y de raíz con *Leucaena* y *Mimosa* turba biodegradable, índice de Dickson con *Calliandra* polietileno-biochar, índice de Esbeltéz con *Calliandra* tubete-turba.

Palabras clave: Biochar, escarificación, esbeltez, índice de Dickson, lignificación, esbeltez y tubete.

Germination, development, and quality of seedlings of dendroenergetic tree species using substrate types and containers in the nursery stage. Marvin Antonio Padilla Portillo. Thesis for the degree in Integrated Natural Resources Management Engineering. National University of Agriculture. Catacamas, Olancho, Honduras. 122 pages.

SUMMARY

In this study, the germination, growth, and quality of three tree species with dendroenergetic potential were evaluated at the Sauces nursery of the National University of Agriculture. These species were: *Leucaena* (*Leucaena salvadorensis*), Barba de gato (*Calliandra calothyrsus*), and Carbón (*Mimosa tenuiflora*). Three types of containers were used: polyethylene bags measuring 5×6 cm; tubetes with a volume of 400 cm^3 , a top diameter of 5.6 cm, a bottom diameter of 1.4 cm, a height of 19.5 cm, and a weight of 40 g; and imported biodegradable bags measuring 16×18 cm. Four types of substrates were tested: S1: 40% bocashi, 40% biochar, 20% soil (265.9 kg); S2: 46.67% bocashi, 14% fertilizer, 13.33% biochar, 23.33% decomposed sawdust, 2.67% soil (545.45 kg); S3: 70% peat, 30% soil (236.82 kg); and S4: 100% unmodified soil (250 kg). The research was conducted in three phases. The first phase evaluated the germination percentage in seedbeds with sand, using pre-germination processes. In the second phase, seedlings were transplanted into the three types of containers, and variables such as diameter, height, number of leaves, leaf area, lignification, aerial and root biomass, Dickson index, and slenderness index were measured. The results showed that *Calliandra* performed best in diameter with polyethylene containers and soil substrate; height was best in *Leucaena* with tubete-soil; number of leaves was highest in *Leucaena* with biodegradable-peat; leaf area was largest in *Leucaena* with polyethylene-peat; lignification was highest in *Mimosa* with biodegradable-soil; aerial and root biomass were highest in *Leucaena* and *Mimosa* with biodegradable-peat; Dickson index was highest in *Calliandra* with polyethylene-biochar; and slenderness index was highest in *Calliandra* with tube-peat.

Keywords: Biochar, Scarification, slenderness, Dickson quality index, lignification, tube seedling.

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de plantas dendroenergéticas es fundamental en las regiones hondureñas, por tal motivo conocer la manera de producir dichas plantas en viveros es importante, identificando que tipos de sustratos son los más adecuados, con diferentes envases para lograr que las plántulas crezcan de manera saludables. Este estudio busco identificar cual es el mejor sustrato para plantas arbustivas dendroenergéticas las cuales se establecieron en diferentes embaces para descubrir cuales de los sustratos ofrecieron las mejores condiciones del desarrollo vegetativo de la planta en etapa juvenil.

Una de las principales problemáticas es la dependencia de la energía dendroenergética, la utilización de leña en los diferentes hogares principalmente en las zonas rurales ha generado una enorme presión sobre los árboles de las regiones. Otra dificultad es no conocer la manera de reproducir estas especies, su tasa de germanización y diferencias en su desarrollo en áreas más controladas.

“Varios gobiernos centroamericanos han priorizado el uso de fuentes de biomasa para crear un mercado bioenergético formal. Las plantaciones dendroenergéticas y el cultivo de árboles a alta densidad son viables para generar biomasa en ciclos de dos a cuatro años” (Flores *et al.* 2019).

El proyecto busco determinar los procesos germinativos y del desarrollo de las especies dendroenergéticas, el cual se llevó a cabo en áreas de la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG), buscando obtener resultados favorables en este campo con el propósito de ayudar al mejor manejo de las plantas dendroenergéticas especialmente especies de la región.

II.OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar la germinación, desarrollo y calidad de plántulas de especies arbóreas dendroenergéticas utilizando tipos de sustratos y envases, en etapa de vivero

2.2. Objetivos específicos

- a. Monitorear la germinación de *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena salvadorensis* y *Mimosa tenuiflora*
- b. Cuantificar el desarrollo de las plántulas de *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena salvadorensis* y *Mimosa tenuiflora*, considerando los tipos de sustratos y envases
- c. Evaluar la calidad de las plántulas dendroenergéticas de *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena salvadorensis* y *Mimosa tenuiflora*, considerando los tipos de sustratos y envases

III. REVISION DE LITERATURA

4.1. Dendroenergía

“La dendroenergía se genera a partir de biomasa forestal, utilizando residuos de aserraderos y plantaciones. Estas plantaciones, diseñadas para la producción energética, buscan obtener biomasa homogénea y de alto poder calorífico mediante rotaciones de corta duración” (Maggio 2022).

“La madera, fuente de energía de la humanidad, sigue siendo vital por su bajo costo y facilidad de obtención. Sin embargo, su explotación en Latinoamérica es severa y carece de prácticas sostenibles, a pesar de su importancia cultural y económica”. (Rodríguez 2016).

De la misma manera, “la dendroenergía se refiere a los combustibles de madera, como leña y carbón vegetal, provenientes de actividades silviculturales y productos industriales, incluye también madera recuperada, combustibles de plantaciones específicas para su producción, siendo el principal biocombustible” (Suarez 2014).

“Así, la madera, primera fuente de energía de la humanidad, sigue siendo crucial. La dendroenergía, a pesar de ser primitiva, representa más del 9% de la energía primaria mundial y es tan importante como todas las otras energías renovables juntas” (Rodríguez 2013).

Igualmente, Rodríguez (2013), menciona que:

“La leña y el carbón vegetal son recursos vitales en Latinoamérica, pero su explotación es insostenible. En países en desarrollo, estos combustibles satisfacen casi todas las necesidades energéticas básicas, especialmente para la cocción de alimentos”.

“Los procesos biológicos afectan la transición de semillas a plántulas, influenciados por la presión de la selección natural. Conocer las clases de dormancia y requerimientos germinativos es crucial para mejorar el éxito en la restauración de plántulas, en ambientes tropicales” (Sánchez *et al.* 2015).

4.2. Importancia de la dendroenergía

De la misma manera Suárez (2014) menciona que: “La madera es la primera fuente de energía de la humanidad, con más de 2000 millones de personas dependientes de ella para cocinar y calentarse, especialmente en países en desarrollo. Representa un tercio del consumo mundial de energía renovable”.

4.3. Importancia de las especies arbóreas

“La necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles cumpliendo con compromisos de emisiones ha renovado el interés en la biomasa forestal y los residuos como fuentes de energía renovable, alineándose con la importancia ecológica y económica de los bosques” (Álvarez *et al.* 2018).

Por otra parte, Álvarez *et al.* (2018) nos dice que: “El desarrollo sostenible de la biomasa energética requiere conocer su capacidad de suministro y calidad. Medir características forestales (edad, calidad del sitio, parámetros) es esencial para evaluar su impacto en la calidad de la biomasa y posibles efectos negativos ambientales”.

4.4. Problemática

4.4.1. Tala de árboles

“La tala de árboles implica la destrucción de bosques, causando deforestación y daño ambiental. Es un problema serio hoy en día, ya que se realiza indiscriminadamente para urbanización, agricultura, ganadería y comercio de madera, afectando la diversidad ecológica” (González 2023).

4.4.2. Uso de leña en zonas ganaderas

La leña es el principal fin que los ganaderos de la región les dan a los árboles. Se encontró que el 90% de los productores utiliza leña como fuente de energía para la cocción de alimentos, con un consumo promedio de 6,8 tareas año⁻¹ (una tarea es una medida local para leña equivalente a 1,25 ton aproximadamente de leña verde), equivalentes a 8,5 ton año⁻¹ de leña verde. Sin duda, la leña constituye una de las principales fuentes de energía en Centroamérica, siendo Honduras el país donde la dendroenergía es la fuente más importante (60,5%) de energía (OTEP) del país (Pérez 2011).

4.5. Poder calorífico

“El poder calorífico es la energía liberada como calor por kilogramo o metro cúbico de combustible al quemarse completamente a presión constante de 101 kPa, en condiciones normales. Es el valor absoluto de la entalpía”.

$$\text{Poder calorífico} = |h_e| \left[\frac{kJ}{kg} \right] (\text{combustible})$$

a. “Poder calorífico Superior PCS o HHV por sus siglas en inglés, es aquel desprendido al final de la combustión, cuando el agua del producto se encuentra en forma líquida.

b. “Poder calorífico Inferior PCI o LHV por sus siglas en inglés, cuando el H²O en los productos está en forma de vapor” (Arroyo 2016).

4.5.1. Solución al problema de la tala excesiva y las emisiones de CO².

“La propuesta de utilizar biomasa, especialmente celulósica de residuos agrícolas y subproductos forestales, surge para reducir emisiones de CO² y la dependencia de combustibles fósiles. Estos recursos renovables son abundantes y no compiten con cultivos alimentarios” (Salazar 2015).

4.6. Identificación de especies con alto potencial energético

“En Honduras, las experiencias en dendroenergía son limitadas, centrándose en residuos forestales de plantaciones maderables. Es esencial investigar nuevas especies para plantaciones dendroenergéticas, como *Leucaena macrophylla*, que destaca por su rápido crecimiento y alto poder calórico” (Flores *et al.* 2019).

4.7. Plantas dendroenergéticas en Honduras

4.7.1. Biscuite (*Acacia deamii*)

Honduras es un país con mucha riqueza en plantas dendroenergéticas y una de las plantas que predominan la parte del corredor seco del territorio es la planta del biscuite, una planta reconocida a nivel nacional por su dureza y resistencia y como su buena capacidad calorífica, usada en muchos hogares por su poder dendroenergético y por su abundancia en la región. Una de las especies más comunes y que tipifican al bosque seco del valle de Agalta es precisamente el biscuite, también el biscuite (*Acacia deamii*) fue la especie con la abundancia relativa más alta (Mora *et al.* 2012).

4.7.2. Barba de gato (*Calliandra calothyrsus*)

“La *Calliandra calothyrsus* es una leguminosa arbórea nativa de México y América Central, valorada por su leña y follaje. Sin embargo, su alto contenido de proantocianidinas y baja digestibilidad limitan su uso como alimento para rumiantes, afectando su valor nutritivo” (Kangara JNN 2003).

Estos árbol o arbusto perennifolio o caducifolio, raras veces alcanza una altura mayor de 10 m, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 20 cm. La especie es una colonizadora muy agresiva, ya que es muy prolífica, y entre su importancia esta su capacidad como combustible [madera]. La leña se usa en la pequeña industria (fábricas de cal, tejas y ladrillos) y en el consumo doméstico. En Java, en 1975 se establecieron más de 250 hectáreas de plantaciones para leña. La madera tiene un peso específico de 0.51 a 0.78 y un valor calorífico de 4,500 a 4,750 kcal/kg. y 1.8 % de cenizas (Robertson 1995).

4.7.3. Leucaena (*Leucaena macrophylla*)

“La *Leucaena*, considerada poco conocida y amenazada, ha sido mapeada en los bosques secos de El Salvador, Honduras y Nicaragua. Se ha aclarado su estatus como especie distinta y se investiga su potencial para programas de plantación en América Central” (Hellín 1993).

4.7.4. Carbón (*Mimosa tenuiflora*)

“*Mimosa tenuiflora*, de la familia *Fabaceae-Mimosoideae*, se caracteriza por sus flores en espigas. Esta especie, ampliamente distribuida en América, ha recibido seis nombres científicos y forma matorrales espinosos en climas cálidos a altitudes de 160 a 630 msnm” (Camargo 2000).

4.8. Fisiología de las semillas dendroenergéticas

De tal manera, “la fisiología de las plantas dendroenergéticas estudia los procesos biológicos y mecánicos que optimizan su crecimiento y desarrollo para la producción de biomasa energética, enfocándose en maximizar la acumulación de biomasa y su respuesta a diversas condiciones ambientales” (Esquivel *et al.* 2017).

“También, las semillas, resultado del óvulo fecundado y maduro, son esenciales para la dispersión y perpetuación de las angiospermas. Se forman a través de la embriogénesis cigótica, que incluye cambios morfológicos, estructurales de expresión génica hasta la maduración del embrión” (Courtis 2013).

4.8.1. Fases de la germinación

“Uno de los aspectos clave de la germinación incluye: 1) localización, 2) selección de semillas, 3) tratamientos pre germinativos, 4) masa de la semilla y 5) viabilidad. Estos factores influyen en la viabilidad y velocidad de germinación” (Ramírez 2016).

4.8.2. Factores que afectan la germinación

“La germinación de la semilla es crucial para la regeneración y recuperación de las poblaciones de plantas. Cada especie requiere condiciones específicas, siendo la temperatura, la luz y la humedad del suelo los principales factores bioclimáticos que regulan este proceso” (Zalazar *et al.* 2009).

4.9. Tipos de sustrato

a) Características de un buen sustrato

“Los sustratos son materiales sólidos que sustituyen al suelo, permitiendo el anclaje y crecimiento de las raíces de las plantas. Esto aborda las características de un buen sustrato para cultivos, esenciales para semilleros y viveros forestales” (Agronotips 2023).

De la misma manera Agronotips (2023), nos presenta lo más recomendable para un buen sustrato:

Que no retengan mucha humedad en su superficie, que no se descompongan o se degraden con facilidad, que tengan preferentemente coloración oscura, que no contengan elementos nutritivos, que no contengan micro organismos perjudiciales para la salud de los seres humanos o de las plantas, que no contengan residuos industriales o humanos, que sean abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar; que sean de bajo costo, que sean livianos.

4.9.1. Carbón vegetal

“El carbón de leña es el residuo sólido del pirólisis de madera, un proceso controlado que evita la combustión completa. Se usa principalmente como combustible doméstico en países en desarrollo, en la siderurgia y para producir carbón activado” (Raffaeli 2022).

4.9.2. Perlita

“La perlita, una roca volcánica vítrea formada por enfriamiento rápido y contiene 2-5% de agua. En la industria, se granula, precalienta a 300-400 °C y se cuece a 1,000 °C, creando una espuma blanca y ligera, estéril y reversible” (Sánchez 2009).

4.9.3. Vermiculita

“La vermiculita es un mineral silicato de aluminio-hierro-magnesio que, al ser sometido a altas temperaturas, se expande 15 a 20 veces. Es ligera, con alta capacidad de retención de humedad con elevado intercambio catiónico gracias a su estructura en placas” (Muñoz 2007).

4.9.4. Turba

“La turba es un material orgánico que se forma por la descomposición de vegetales en ambientes húmedos y con poca oxigenación. Es esponjosa, rica en carbono y se utiliza ampliamente como sustrato en jardinería y agricultura” (Bracho 2009).

4.9.5. Sustrato comercial

“Sustrato comercial se refiere a mezclas de materiales utilizados como medio de cultivo para plantas, especialmente en entornos controlados como invernaderos. Estas mezclas están diseñadas para proporcionar un soporte físico adecuado, retener humedad y nutrientes” (Grazia 2006).

4.9.6. Bocashi

“El bocashi ha sido utilizado como abono orgánico por los agricultores japoneses desde hace ya muchos años. bocashi es una palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada”.

“El abono bocashi se descompone aeróbicamente con materiales animales o vegetales, aumentando microorganismos en el suelo y mejorando sus características físicas. Se puede elaborar con insumos locales, permitiendo variaciones según la materia prima disponible en la región” (Ramos *et al.* 2014).

“La elaboración de abonos orgánicos fermentados como el Bocashi es un proceso de descomposición aeróbica de residuos orgánicos por microorganismos. Produce un material parcialmente estable que fertiliza plantas y nutre el suelo, siendo adaptable a diversos climas y ambientes agropecuarios”.

4.10. Tipos de envases

“En el sistema de producción de plantas con raíz cubierta, las características del envase afectan la morfología y calidad de la planta, especialmente la raíz, demandando más plantas forestales para reforestaciones y plantaciones comerciales ha aumentado, superando 200 millones anuales” (Aguilar 2016).

4.10.1. Tubete

“Los contenedores rígidos, aunque más costosos que las bolsas de polietileno, son duraderos (hasta 10 años) permitiendo ahorrar sustrato. Diseñados con estrías evita el crecimiento espiralado de raíces y optimiza el espacio, reduciendo costos de transporte y mano de obra” (Rioja 2022).

4.10.2. Bolsa de polietileno

“Las bolsas de polietileno negro son más económicas que los recipientes rígidos, aunque algunos tipos se deterioran rápidamente. El tamaño de la bolsa depende del tiempo en el vivero: para más de 11-12 meses, usar 9 x 1” (González 2001).

Igualmente, González (2001) comenta que: “Para producir plantas de calidad, se utilizan bolsas de plástico de 6 x 10”. Sin embargo, provoca que las plantas permanezcan más tiempo en el vivero, aumentando el volumen y peso de las bolsas, complicando el trasplante en zonas difíciles”.

4.10.3. Bolsa biodegradable

“Las bolsas biodegradables son contenedores biodegradables y ecológicos para cultivar plantas en viveros. Fabricadas con materiales que favorecen el crecimiento de raíces, son una alternativa sostenible a las bolsas plásticas, promoviendo prácticas amigables con el ambiente” (Gómez 2023).

Características de las bolsas biodegradables:

1. “Material biodegradable: Están hechos de materiales que se descomponen naturalmente, minimizando el impacto ambiental”.
2. “Transpirabilidad: Permiten una adecuada circulación de aire y agua, lo que favorece el desarrollo radicular”.
3. “Facilidad de uso: Son ligeras y fáciles de manejar, lo que facilita su transporte y manejo en viveros”.
4. “Reducción de plásticos: Al ser biodegradables, contribuyen a la reducción del uso de plásticos en la agricultura”

4.11. Beneficios ambientales y económicos

“Estudios globales indican que la demanda de bioenergía aumentará significativamente para 2050. Para reducir las emisiones de CO₂ a la mitad, se debe triplicar el uso de bioenergía, destacando las plantaciones dendroenergéticas como una opción sostenible para producir biomasa” (Arias 2020).

“La leña es una fuente energética local, accesible y renovable, pero su uso en fogones tradicionales genera riesgos para la salud por emisiones dañinas. Por ello, se han desarrollado alternativas como estufas de leña, gas, etanol, biogás y carbón vegetal” (Navarrete 2012).

“La bioenergía se genera a partir de materiales forestales mediante procesos como la quema de madera y la gasificación de astillas. La dendroenergía es clave en áreas rurales y ofrece una alternativa para reducir combustibles fósiles y emisiones de gases de efecto invernadero” (CCAD 2014).

4.11.1. La dendroenergía y su importancia económica

Igualmente, Navarrete (2012) nos comenta que: “Los estudios del Programa de Asistencia a la Gestión del Sector de la Energía del PNUD y el Banco Mundial revelaron que la leña y el carbón vegetal son cruciales para el empleo e ingresos de muchas familias”.

IV.MATERIALES Y MÉTODO

5.1. Ubicación del área de trabajo

Este estudio se llevó a cabo en el vivero forestal Sauces el cual se encuentra ubicado a nivel geográfico en el municipio de Catacamas, Olancho, en el campus de la Universidad Nacional de Agricultura. El vivero forestal está a una latitud de 14.833281 y una longitud de - 85.847440, con una altitud de 357 m sobre el nivel del mar (Google Earth 2025).

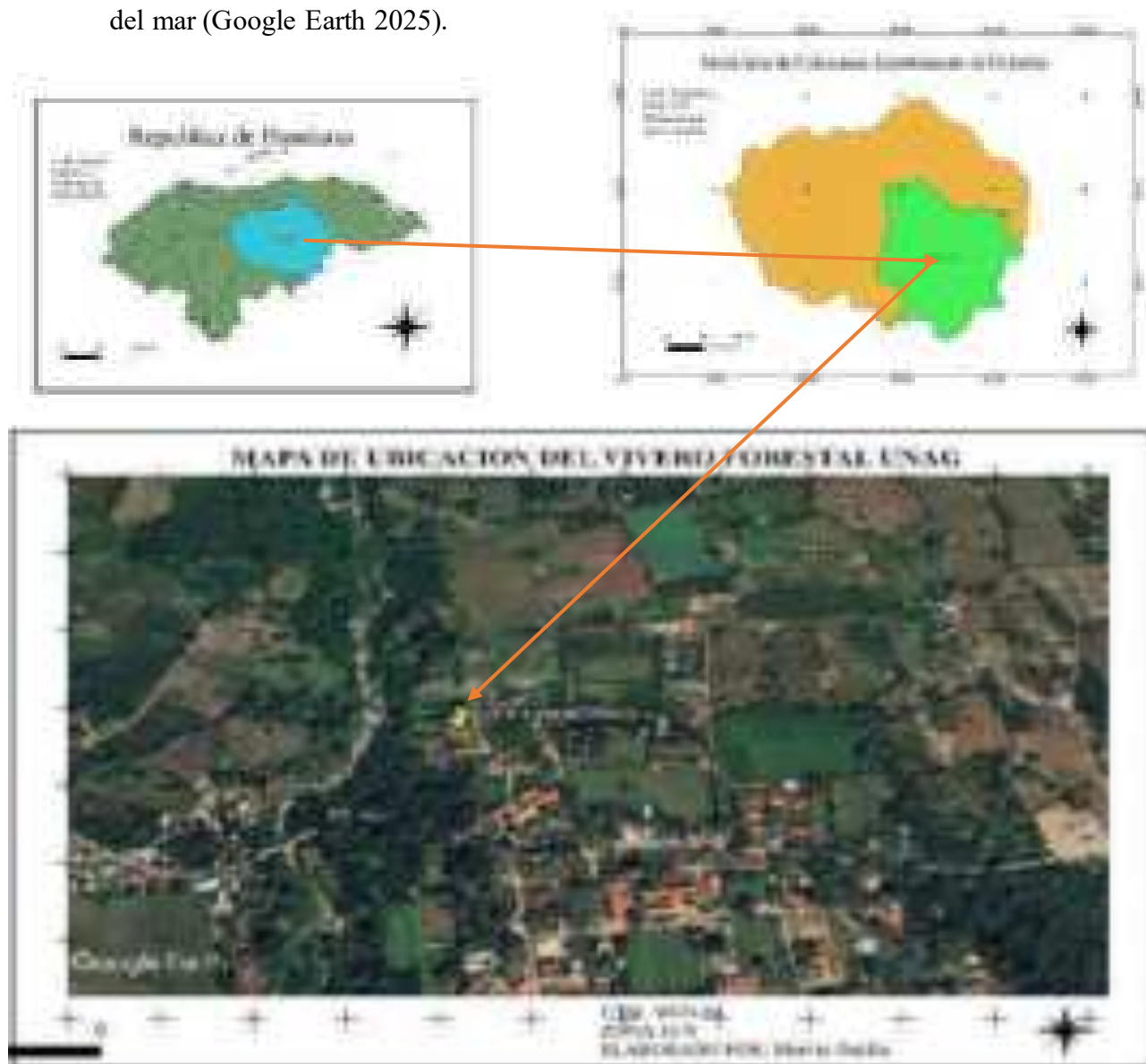


Figura 1.Ubicación del vivero forestal Sauces, en la Universidad Nacional de Agricultura

5.2. Materiales y equipo

Los materiales y equipo fueron: arena, envases (polietileno, biodegradable, tubete), semillas, paletas, reglas, cintas métricas, forcípulas, libretas, sustratos (turba, biochar, vermiculita, bocashi, aserrín, suelo), semillas, leña, estiércoles, plumas, lapis, machetes, palas, palines, computadora, reglas graduadas, masquintey, agua caliente, cabuya, madera, celular, alambres, madera, cajas, nailon y regaderas.

La primera fase se construyó areneros con bandejas con un promedio de 200 alveolos cada una, se seleccionó la arena de rio la cual se tamizo, dicha arena se le dio un tratamiento de desinfección con agua caliente, esto se realizó entre 3 a 4 días antes de la siembra.

Las semillas de las especies, las cuales se compraron de Semillas Tropicales en Siguatopeque. Se sembraron las semillas en surcos definidos a una profundidad de uno a dos cm aproximadamente, utilizando una libra de semilla por metro cuadrado. Se monitoreo la germinación cada dos días según la cantidad de semillas germinadas, anotando en la libreta de campo. Se cubrieron con hojarasca y se monitoreo durante un periodo entre 30 días, dependiendo del tiempo de germinación de cada especie.

En la segunda fase se realizó el repique de las plántulas a los envases colocados al azar en tres bloques, se monitoreo la variable altura, realizando medidas con reglas graduadas en cm desde el cuello de la raíz hasta el ápice y el diámetro con el pie de rey, medidas que se realizaron cada 15 días. Se contó el numero hojas de las plántulas de los tratamientos y se midió el área foliar a través de la aplicación *Easy Area*[®]. De la misma manera, se midieron dos plantas por unidad experimental, retirando el sustrato con agua para luego separar la parte radicular y aérea, las cuales se llevaron al laboratorio de suelos donde se pesó la materia húmeda y materia seca.

Como tercera fase, que corresponde a la evaluación de la calidad de las plántulas dendroenergéticas, mediante pruebas, obteniendo el grado de crecimiento tanto materia húmeda y materia seca para conocer el grado de lignificación de las especies.

En esta etapa se utilizó el índice de Dickson, ayudando a identificar valores de calidad específicas morfológicas entre las plantas de las otras muestras.

En la cuarta fase se realizó las recopilaciones de la información la cual se obtuvieron mediante herramientas necesarias para la medición. En consiguiente los resultados que se obtuvieron se fueron registrando meticulosamente y tabulados utilizando aplicaciones informáticas como: *PowerPoint*®, *Excel*®, *Word*®, *Easy Leaf Area*®, *Qgis*®, *SILVER* y *Scott-Knott*®, para realizar análisis más detallados y representaciones gráficas entre otros.

5.3. Enfoque metodológico

El procedimiento metodológico fue de carácter cuantitativo, que respondió las interrogantes mediante datos obtenidos del estudio, los cuales respondieron las distintas hipótesis que plantean los objetivos.

5.4. Diseño experimental

En esta etapa del estudio, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglos factoriales los cuales son: Envases, sustratos y especies. Consistió en una metodología estadística para el estudio de tres factores, que este caso fueron los tipos de sustratos, envases y las especies arbustivas dendroenergéticas. Este enfoque permitió analizar efectos de cada factor. El objetivo de este experimento fue: determinar cómo los tipos de sustratos y envases tiene efectos distintos en el desarrollo de las plántulas dendroenergéticas.

5.5. Factores

Se muestran los tres factores que se están evaluando con sus respectivas cantidades por cada factor, al ser un diseño completamente al azar con arreglos factoriales, los cuales son: 3 (envases) x 4 (Sustrato) x 3 (Especies) con 36 tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Repeticiones para sustratos con las tres especies y sus combinaciones utilizando el envase de polietileno

N	Envase	Sustrato	Especie	Tratamientos
1	E1 (Polietileno)	S1 : Biochar	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S1P1
2			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S1P2
3			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S1P3
4				
5		S2: Turba	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S2P1
6			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S2P2
7			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S2P3
8				
9		S3: Aserrin	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S3P1
10			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S3P2
11			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S3P3
12				
13		S4: Tierra	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S4P1
14			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S4P2
15			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S4P3
16				

Tabla 2. Repeticiones para sustratos con las tres especies y sus combinaciones utilizando el envase biodegradable

N	Envase	Sustrato	Especie	Tratamientos
1	E2 (Biodegradable)	S1 : Biochar	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S1P1
2			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S1P2
3			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S1P3
4				
5		S2: Turba	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S2P1
6			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S2P2
7			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S2P3
8				
9		S3: Aserrín	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S3P1
10			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S3P2
11			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S3P3
12				
13		S4: Tierra	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S4P1
14			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S4P2
15			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S4P3
16				

Tabla 3. Repeticiones para sustratos con las tres especies y sus combinaciones utilizando el envase tubete

N	Envase	Sustrato	Especie	Tratamientos
1	E3 (Tubete)	S1 : Biochar	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S1P1
2			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S1P2
3			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S1P3
4				
5		S2: Turba	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S2P1
6			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S2P2
7			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S2P3
8				
9		S3: Aserrin	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S3P1
10			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S3P2
11			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S3P3
12				
13		S4: Tierra	P1: Leucaena (<i>Leucaena salvadorensis</i>)	E1S4P1
14			P2: Barba de gato (<i>Calliandra calothyrsus</i>)	E1S4P2
15			P3: Carbón (<i>Mimosa tenuiflora</i>)	E1S4P3
16				

De esta manera, en esta etapa del experimento se emplearon cuatro tipos de sustratos (tratamientos), los cuales fueron seleccionados tal como: S1: 40% bocashi, 40% biochar, 20% Suelo (265,9 kg); S2: 46.67% bocashi, 14% Fertilizante, 13.33% Biochar, 23.33% aserrín descompuesto, 2.67% suelo (545,45 kg), S3: 70% turba, 30% suelo (236,8 kg); y S4: 100 % suelo sin modificaciones (250 kg). Para esta etapa se empezó con los procesos de monitoreos de las distintas plántulas dendroenergéticas que se elegirán para su estudio.

Los tratamientos del experimento resultaron de la combinación de los 3 niveles del factor “a” X los 4 niveles del factor “b” X los 3 niveles del factor “c”, lo que equivale a un total de 36 tratamientos. La unidad experimental estuvo constituida por 8 plántulas y se tuvieron tres repeticiones (bloques), con un total de 108 tratamientos por 8 plántulas por unidad experimental, dando un total de 864 plantas en el experimento.

A posterior, se seleccionaron 4 plántulas por cada unidad experimental según su especie para la evaluación de las variables correspondientes en el estudio, de esas cuatro se seleccionaron dos al azar para el estudio de las variables.

5.6. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza por la prueba F al 5% de probabilidad para determinar si existen diferencias significativas entre la medida de los tres factores.

En el caso de que haya efectos significativos al realizar dicho análisis por la prueba F al 5%, indicando que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto distinto en la variable dependiente, tal es el caso, se rechaza la hipótesis nula si el valor de la prueba es menor de 0.05, que establece que todas las medidas de los tratamientos son iguales. Al no especificar cuales grupos son diferentes, se debe realizar una prueba “*Scott-Knott*” como el teste de media al 5%.

Se interpretaron los resultados para entender que tratamientos tenía diferencias significativas y aplicar la creación de gráficos o tablas que mostraron las diferencias significativas.

5.7. Descripción de los tratamientos (Tabla 4)

Tabla 4. Descripción de los sustratos que se utilizaron en el experimento

N. de combinación de sustrato	Descripción de sustratos
Combinación 1	S1: 40% bocashi, 40% biochar, 20% Suelo (265,9 kg)
Combinación 2	S2: 46.67% bocashi, 14% Fertilizante (urea), 13.33% Biochar, 23.33% aserrín descompuesto, 2.67% suelo (545,45 kg)
Combinación 3	S3: 70% turba, 30% suelo (236,81 kg)
Combinación 4	S4: 100 % suelo sin modificaciones (250 kg)
Envases	tubete, bolsa de polietileno, bolsa biodegradable.

5.8. Variables a evaluar

Para las variables se utilizará el Índice de calidad de Díckson

ICD:

$$\frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\left(\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz (mm)}} \right) + \frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco de raíz (g)}}$$

Porcentaje de germinación:

Para esta variable se monitoreo la germinación según la cantidad de semillas por bloque experimental, utilizando los datos recolectados para determinar el porcentaje de germinación en relación con la cantidad inicial de semillas sembradas la cual se obtiene mediante la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de germinación} = \frac{\text{Número total de semillas germinadas}}{\text{Número de semillas sembradas por semillero}} \times 100$$

Esta fórmula permitió obtener un valor porcentual que refleja la proporción de semillas que han germinado con respecto al total sembrado en cada bloque experimental. Este proceso proporcionó una medida cuantitativa de la tasa de éxito de la germinación en cada uno de los bloques experimentales analizados, en cuanto a las se realizaron cada dos días monitoreando la germinación en orden para obtener una información correcta.

Altura de la planta (cm): la medición de la altura de las plantas desde la parte del inicio del tallo (fuste) hasta el ápice, dicho dato se tomó de las cuatro unidades experimentales. Las mediciones se realizaron con reglas graduadas en cm. Luego de las mediciones correspondiente a cada plántula por especie se pasaron a la tabulación de la información recolectada.

Número de hojas y área foliar en cm: Entre las mediciones correspondientes se llevó a cabo la cuantificación de las hojas por plántula y el área de las mismas, con una determinada aplicación que calcula de manera inmediata su área.

Diámetro: Se midió la base del tayo de las plántulas, utilizando un pie de rey en cm.

Lignificación: La lignificación es el proceso de sellado de las paredes vegetales a través de la deposición de lignina, que proporciona fuerza mecánica a los tallos, el estudio se realizó a dos plantas por unidad experimental de los 36 tratamientos por bloque. Conocer dicha variable, permite saber si la planta cuenta con las condiciones óptimas para ser trasladada a campo definitivo.

Para medir la lignificación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Lignificación \%} = \left(\frac{\text{Peso seco total (g)}}{\text{Peso húmedo total (g)}} \right) * 100$$

Esbeltez: Para esta variable se midieron las mismas plántulas realizando mediciones, tomando en cuenta el crecimiento del tallo, raíz y hojas para evaluar la velocidad de crecimiento de las plántulas. Esta etapa de análisis se realizó de manera periódica para ver cuál es la capacidad de crecimiento de las especies dendroenergéticas, tomando en cuenta el tipo de sustrato y de envase. Para poder calcular el crecimiento se utilizó la fórmula siguiente.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Cambios en mediciones}}{\text{Tiempo transcurrido}}$$

a. Medición de la variable de biomasa de húmeda y raíz seca

❖ **Biomasa húmeda:** Para esta etapa se evaluaron la biomasa aérea y de raíz, las cuales se dividieron para las mediciones en el laboratorio, posterior mente se llevó a cabo el corte de la raíz del fuste, se llevó al laboratorio y se pesaron sin ningún proceso de disecado.

❖ **Biomasa de raíz seca:** Para esta otra etapa, las raíces que se extrajeron se colocaron en un horno en un ambiente de secado para la extracción del agua en su totalidad de las muestras para luego comenzar con su respectivo pesado, calculando el peso real de la raíz, el horno se encontraba a 65 grados Celsius por 24 horas.

Para calcular las variables se utilizó la fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(\text{Peso de raíz húmeda} - \text{Peso de raíz seca})}{\text{Peso de raíz húmeda}} \times 100$$

Costos económicos: Se realizó un análisis de costos económicos para tener un promedio del presupuesto para el proyecto.

Compra de bolsas de polietileno y tubete y bolsas de polietileno: para esta etapa se compraron bolsas negras de polietileno de un tamaño de 6x8 pulgadas, las cuales son tanto para germinación y desarrollo de las plántulas, de la misma manera se compró el envase tubete en Puerto Corte, por la cantidad de 500 tubetes.

En esta etapa se llevó un control desde las compras, viajes, con sus fechas respectivas, recibos para cada compra de productos, proveedores, descripciones, cantidades. Evaluando en términos económicos, con una sumatoria de todos los gastos lo cual nos dará una visión integral de la inversión realizada en el proyecto.

Cuando culminó el tiempo de estudio, todas las anotaciones que se obtuvieron se pasaron a la computadora, los análisis que se realizaron para ver los resultados esperados, con una meticulosa interpretación de las diversas respuestas.

5.9. Modelo estadístico

Formulación general del modelo aditivo lineal:

El modelo aditivo lineal general para este tipo de diseño factorial es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} es el valor observado de la respuesta en la combinación i, j, k , i, j, k , i, j, k ,

μ es la media general (promedio global de la respuesta),

α_i es el efecto del factor AAA en el nivel i ,

β_j es el efecto del factor BBB en el nivel j

γ_k es el efecto del factor CCC en el nivel k ,

$(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre AAA y BBB,

$(\alpha\gamma)_{ik}$ es el efecto de la interacción entre AAA y CCC,

$(\beta\gamma)_{jk}$ es el efecto de la interacción entre BBB y CCC,

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de la interacción de los tres factores AAA, BBB, y CCC,

ϵ_{ijk} es el error asociado con la observación Y_{ijk} , que se asume que sigue una distribución normal con media cero y varianza constante

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los diferentes resultados y análisis de la investigación experimental con las diferentes variables tanto de germinación, desarrollo y calidad de las especies dendroenergéticas estudiadas.

6.1. Porcentaje de germinación

La germinación de las tres especies arbóreas dendroenergética, mediante los resultados demuestra qué especie tiene los mejores resultados (Figura 2).

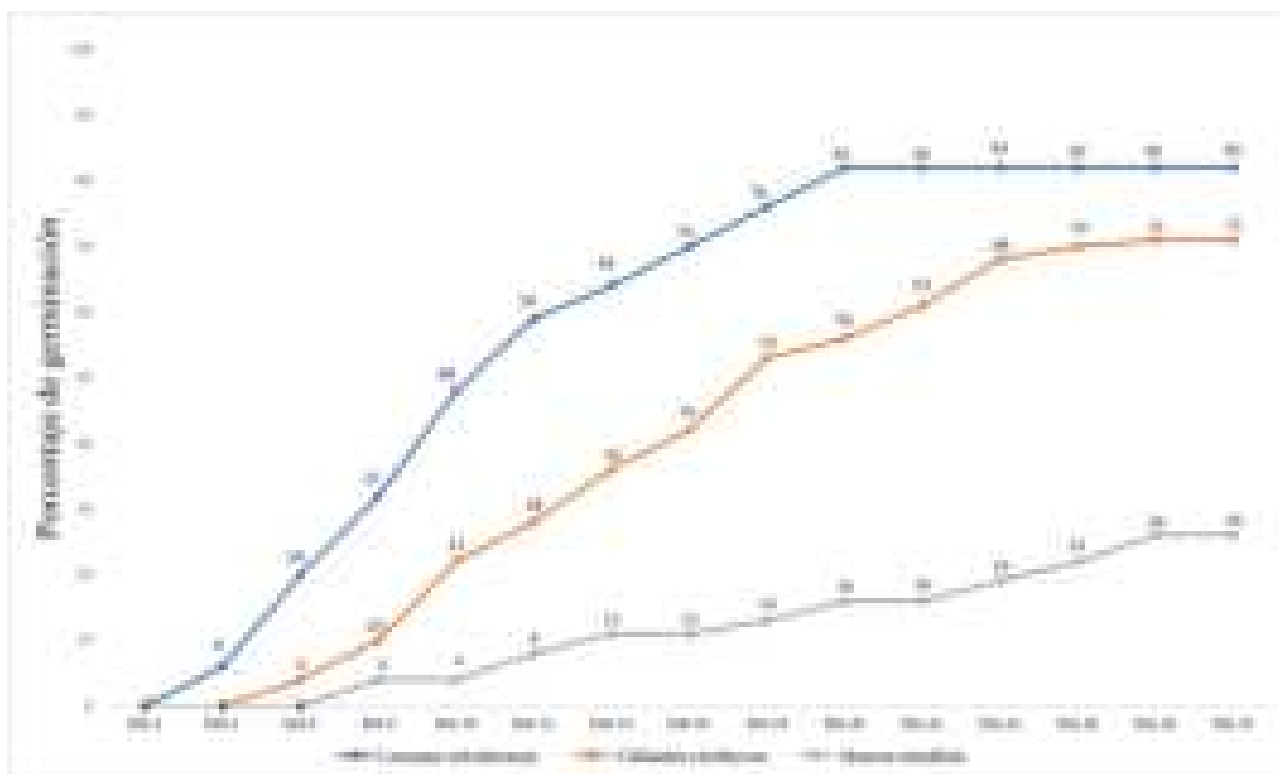


Figura 2. Porcentaje de germinación de *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora* en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho

Mediante monitoreos del porcentaje de germinación en arena, la especie *Leucaena salvadorensis* es la que mejores resultados obtuvo, concordando con Orozco *et al.* (2010), donde demuestra que, el género *Leucaena* germina mejor en arena.

Tabla 5. Datos del análisis estadístico ANOVA y prueba de media de Teste *Scott-Knott* al 5%

Fuente de variación	Grados de libertad Total	Diámetro cm	Altura cm	No. De hojas	Área foliar cm ²
Bloque	2	0,00 Ns	0,18 Ns	0,11 Ns	75,73 Ns
Tratamiento	35	0,00 **	6,97 **	42,17 **	125380,73 **
Error	70	0.00	1,5	2,22	2029,77
Total	107				
Coeficiente de variación		4,21	8,92	9,34	7,19

Fuente de variación	Lignificación %	Bioamsa de raíz seca	Índice de Dickson	Biomasa aérea seca	Índice de Esbeltéz
Bloque	2,10 Ns	1,01 Ns	9,26 Ns	0,63 Ns	0,098
Tratamiento	32,71 **	64,97 **	0,014 **	3,95 **	2,18**
Error	1,67	2,92	0.00	0,57	0,28
Total					
Coeficiente de variación	4,09	2,42	9,4	27,39	8,99

Mediante el análisis estadístico ANOVA y la prueba de media de Teste *Scott-Knott* al 5%, realizado para el análisis de las variables evaluadas, las cuales fueron: diámetro, altura, No. De hojas, área foliar, lignificación, biomasa de raíz seca, índice de Dickson, biomasa aérea seca, índice de Esbeltéz. Permitiendo conocer cuanta variación tuvieron los tratamientos, todo para conocer su fuente variación, su error estándar, su coeficiente de variación.

Con los datos obtenidos se demuestra que, si existen diferencias significativas para las variables, lo cual se rotula con dos asteriscos (**) lo que nos indica que en dicha variable si hay diferencias significativas en los tratamientos, si en el caso se coloca (Ns) nos representa que en dicha variable no hay diferencias significativas y que los tratamientos son iguales.

Esta prueba estadística se realizó ya que permite tener una descripción más clara de los resultados, dándole a cada tratamiento un valor o rango característico, agrupado en un orden de mayor a menor con letras desde la (a1...) hasta la cantidad de tratamientos diferentes que da el programa estadístico (a1, a2, a3, a4, a5 y a6...) donde el mejor tratamiento es el número mayor, es decir si hay un numero de “a1-a6” el mejor tratamiento serian “a6” el cual se describe con la letra “a” y el resto con las siguientes letras del abecedario sucesivamente (Anexo 1).

6.2. Altura de la planta

Mediante el análisis estadístico indica que, si existen diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo los mejores resultados con la especie *Leucaena salvadorensis* donde resalta el sustrato suelo con el envase tubete, seguido los sustratos aserrín y biochar con el mismo envase (Figura 3).

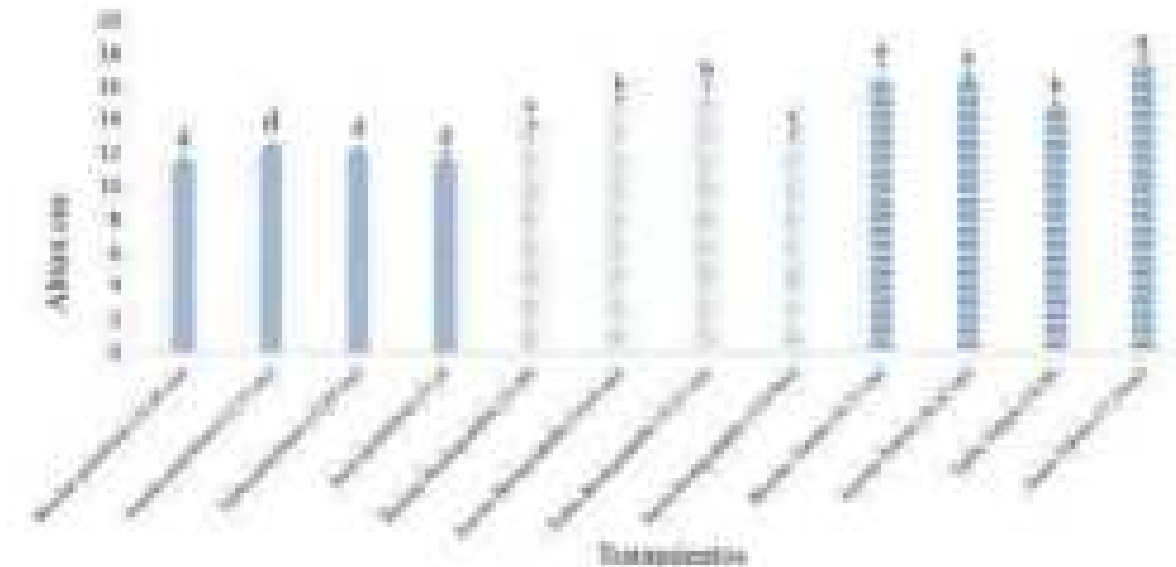


Figura 3. Altura media de *Leucaena salvadorensis*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

Asimismo, para la especie *Calliandra calothyrsus* en los tratamientos 31 de turba y 32 aserrín en el envase de tubete, son de los 5 tratamientos que el análisis muestra con los mejores valores (Figura 4). No obstante, también el tratamiento 15 con el envase biodegradable y con la especie *Leucaena* en el sustrato turba, muestra resultados óptimos en cuanto a la altura de las plantas, destacando el tubete como de los mejores en altura estándar (Figura 3) con concordando con los resultados de (Suazo 2020).

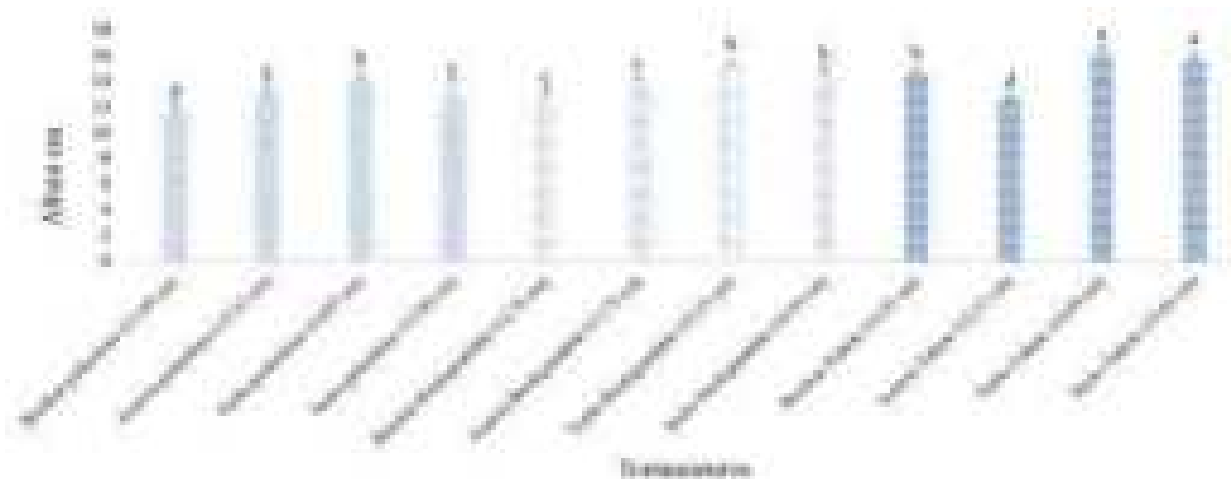


Figura 4. Altura de *Calliandra calothyrsus*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

La especie *Calliandra calothyrsus* tuvo un mejor desarrollo en cuanto al sustrato suelo-tubete y turba-tubete (Figura 4), demostrando que estos dos sustratos cuentan con las propiedades óptimas para la variable altura así lo dice Prieto *et al.* (2009), donde expone que; la turba es uno de los mejores sustratos por su capacidad de retener humedad, favoreciendo al desarrollo de altura en las plantas.

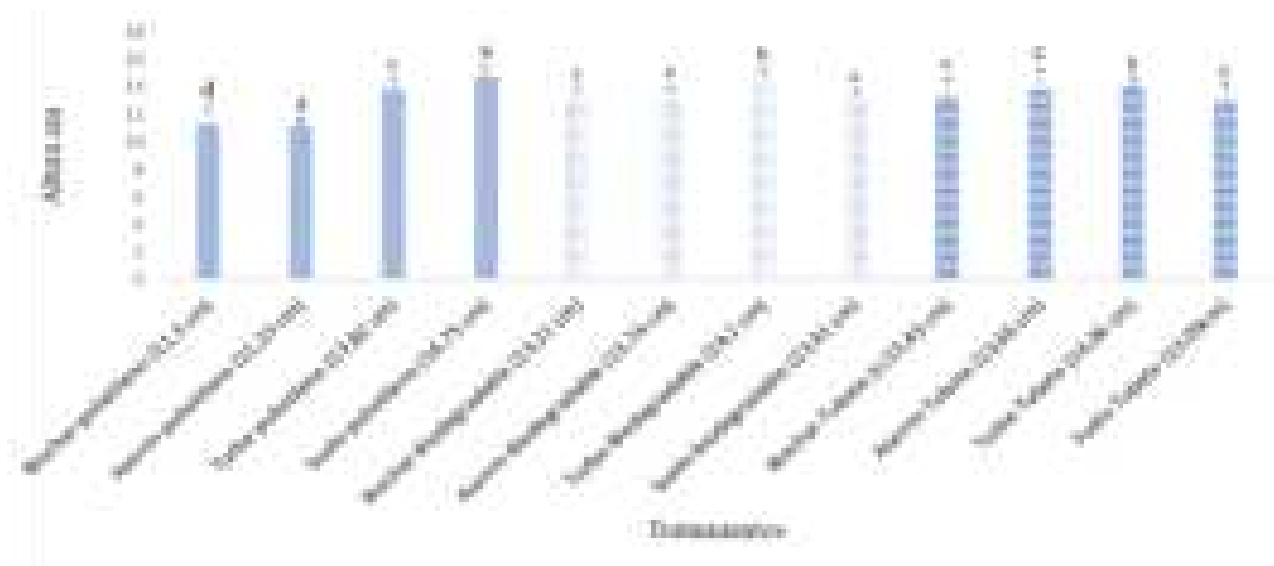


Figura 5. Altura de *Mimosa tenuiflora*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

La *Mimosa tenuiflora* es la especie que obtuvo los menores rendimientos, destacando el tratamiento polietileno-aserrín con 11,23 cm de altura, con el envase de polietileno (Figura 5), con varios factores que juegan en contra, como los taninos o el grado de descomposición Pineda *et al.* (2019), donde se demuestra que, el uso de aserrín por sus componentes lignocelulósicos actúa como supresor del desarrollo de la planta.

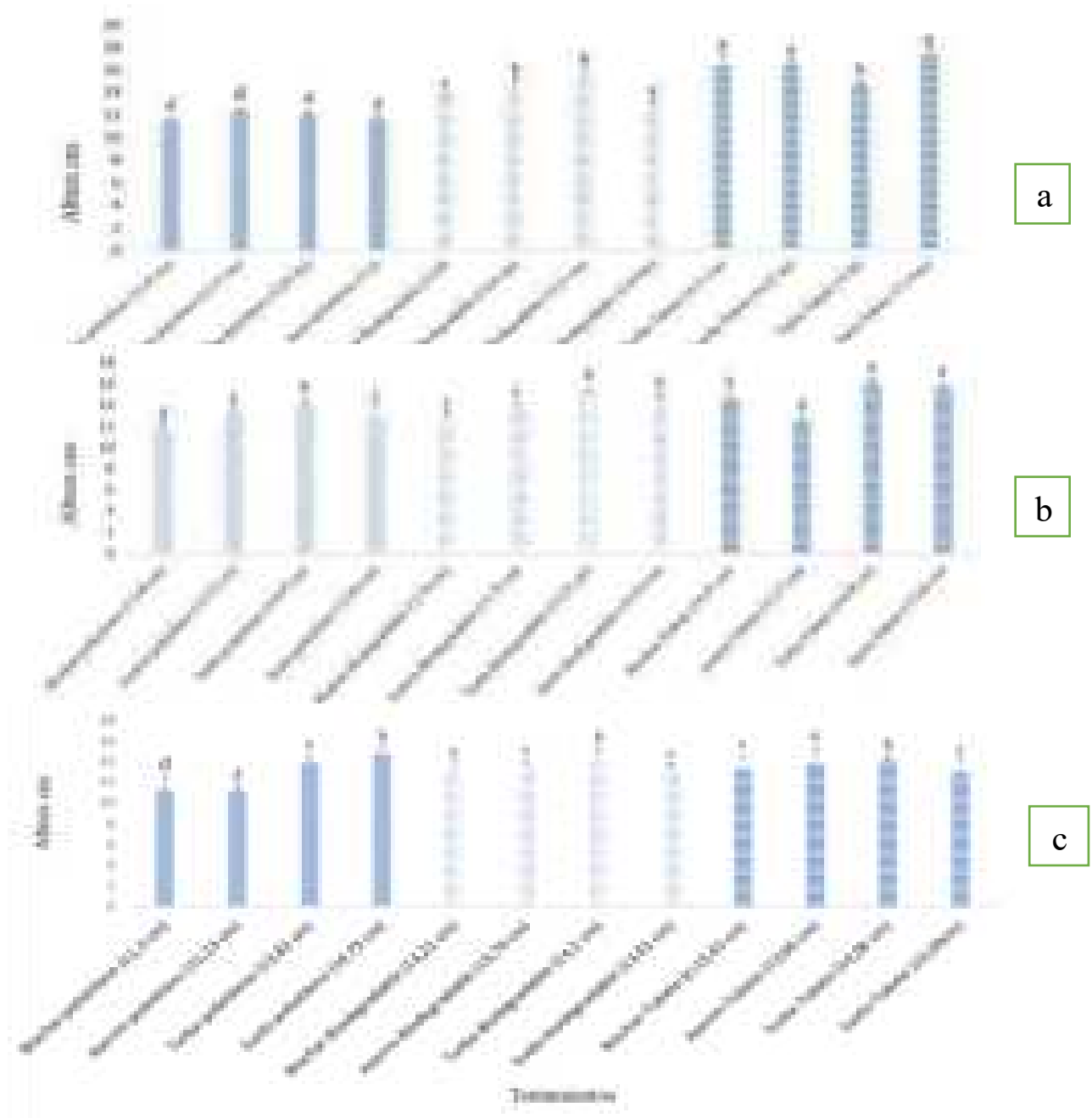


Figura 6. Altura en (cm) de; a. *Leucaena salvadorensis* b. *Calliandra calothyrsus* c. *Mimosa tenuiflora* utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

6.3. Diámetro de planta

Resultados de las pruebas estadística de medias utilizando el teste de varianza por la prueba F al 5% para la variable diámetro en cm, de las 3 especies arbóreas dendroenergéticas en los 3 envases; polietileno, biodegradable, tubete y los cuatro sustratos; biochar, aserrín, turba y suelo lo que nos indica que, si hay efecto entre los diferentes tratamientos, la prueba revelo que los mejores resultados los obtuvieron los tratamientos 8 con un diámetro de 0,28 cm, con el sustrato suelo y el envase polietileno con la especie *Calliandra calothyrsus* (Figura 7).

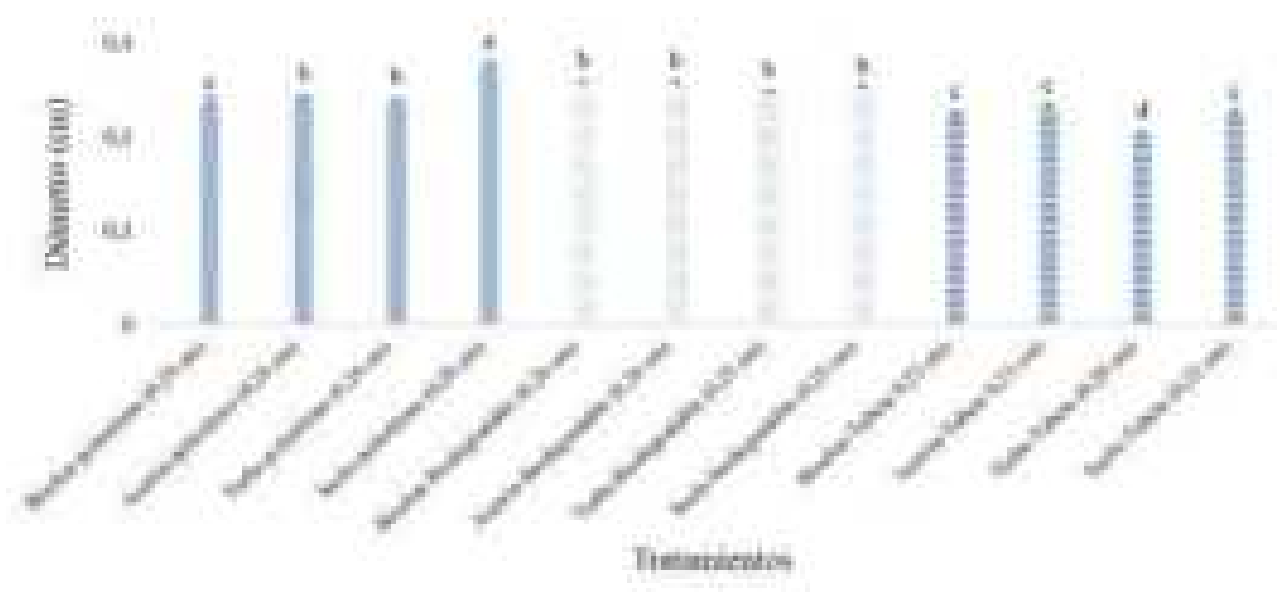


Tabla 7. Diámetro de *Leucaena salvadorensis*, utilizando los cuatro sustratos y los tres diferentes tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

La especie *Leucaena salvadorensis* destaca con un diámetro de 0,28 cm lo que concuerda con Segura (2017), donde expone que, muchas especies dendroenergéticas tienen un mejor desarrollo de su diámetro en suelos de las regiones donde se desarrollan, mejorando los resultados de la especie.

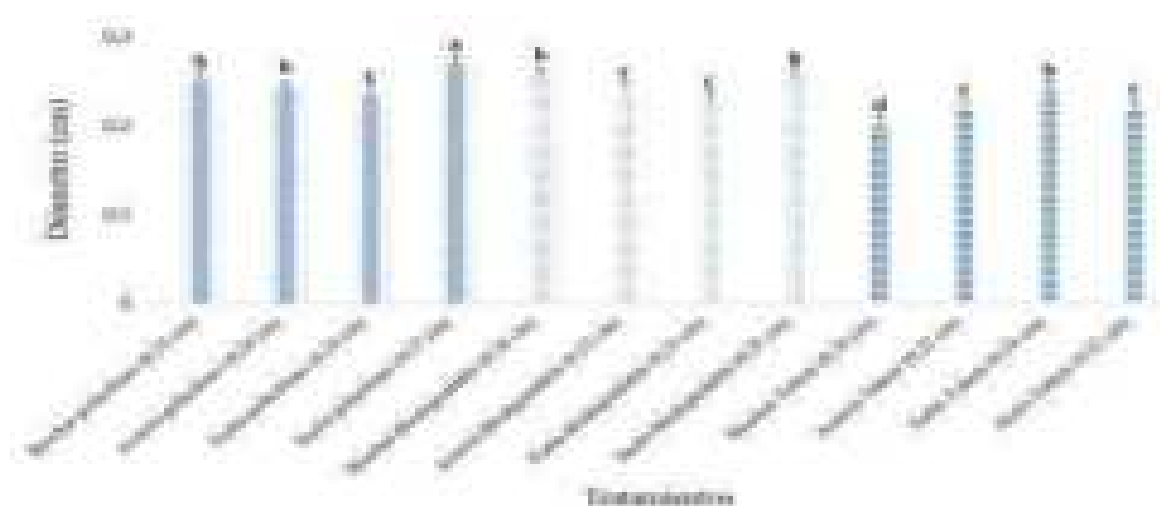


Figura 7. Diámetro medio de *Calliandra calothyrsus*, utilizando los cuatro sustratos y los tres diferentes tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

De la misma manera, el tratamiento 16, con 0,27 cm de diámetro para la *Calliandra calothyrsus* con el envase polietileno y con el sustrato suelo (Figura 8) demuestra un desarrollo óptimo en cuanto al diámetro.

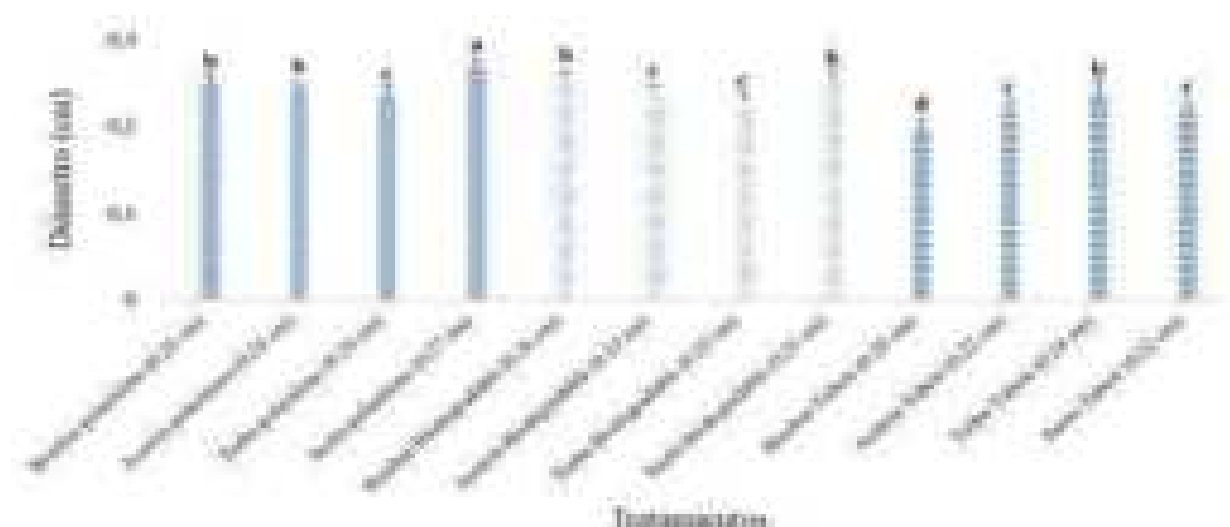


Figura 8. Diámetro medio de *Mimosa tenuiflora*, utilizando los cuatro sustratos y los tres diferentes tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

Para el tratamiento 12 con 0,27 cm para el sustrato suelo y el envase de polietileno con la especie de *Mimosa tenuiflora* (Figura 9) y según Sánchez *et al.* (2015) concuerda que, las características del envase influyen en la morfología de las plantas, en este caso el envase de polietileno tiene mejores resultados para las tres especies.

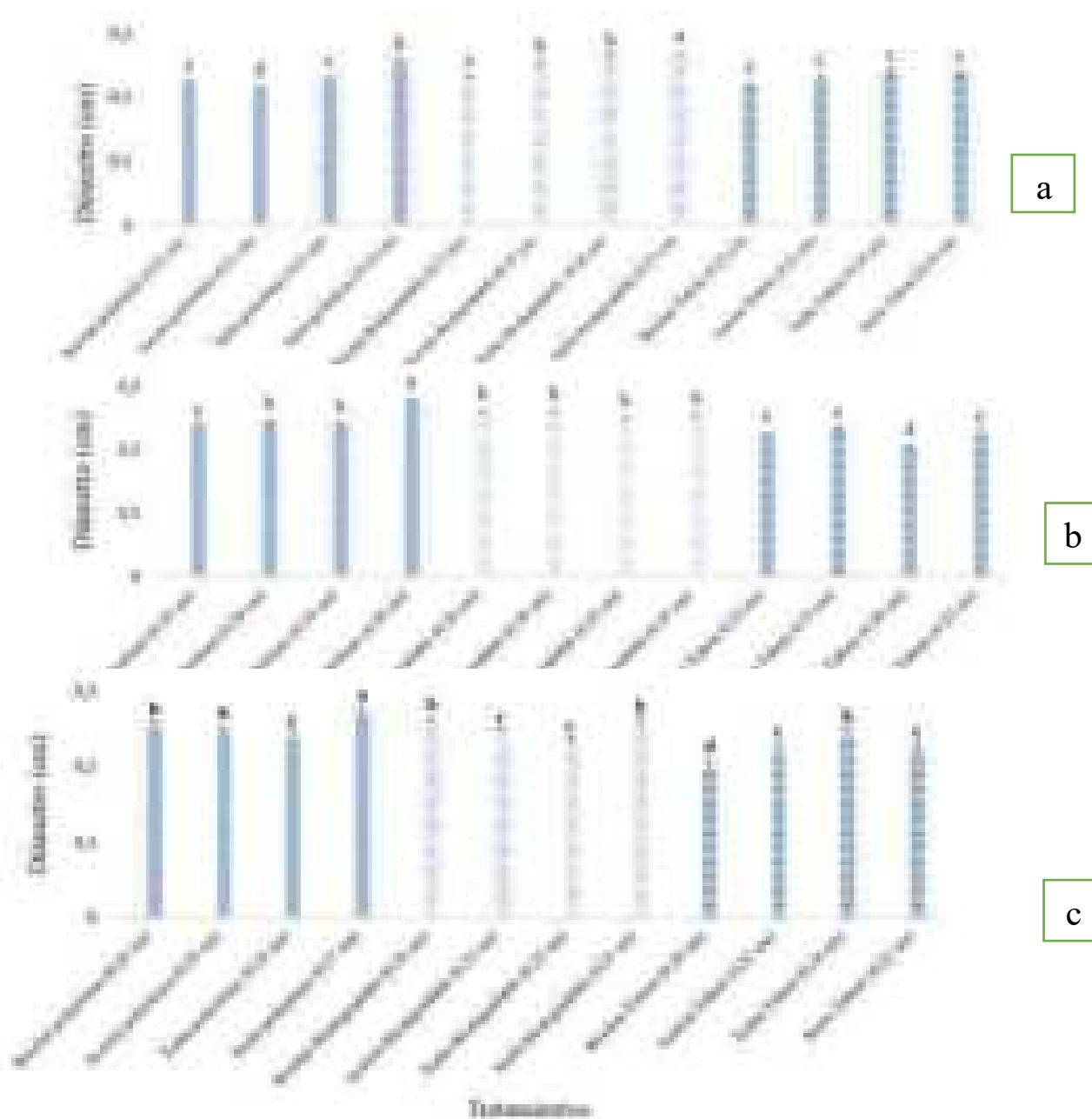


Figura 9. Diámetro en (cm) de; a. *Leucaena salvadorensis* b. *Calliandra calothyrsus* c. *Mimosa tenuiflora* utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

6.4. Área foliar

Cuando se analizaron los tratamientos mediante el programa estadístico ANOVA, a través de la prueba de media de Teste *Scott-Knott* por la prueba F al 5% para área foliar, mediante el cual nos dice que, si existen diferencias significativas entre los tratamientos, destacando el tratamiento 3 con 937 cm² que corresponde a turba-polietileno con la especie *Leucaena salvadorensis* (Figura 11).

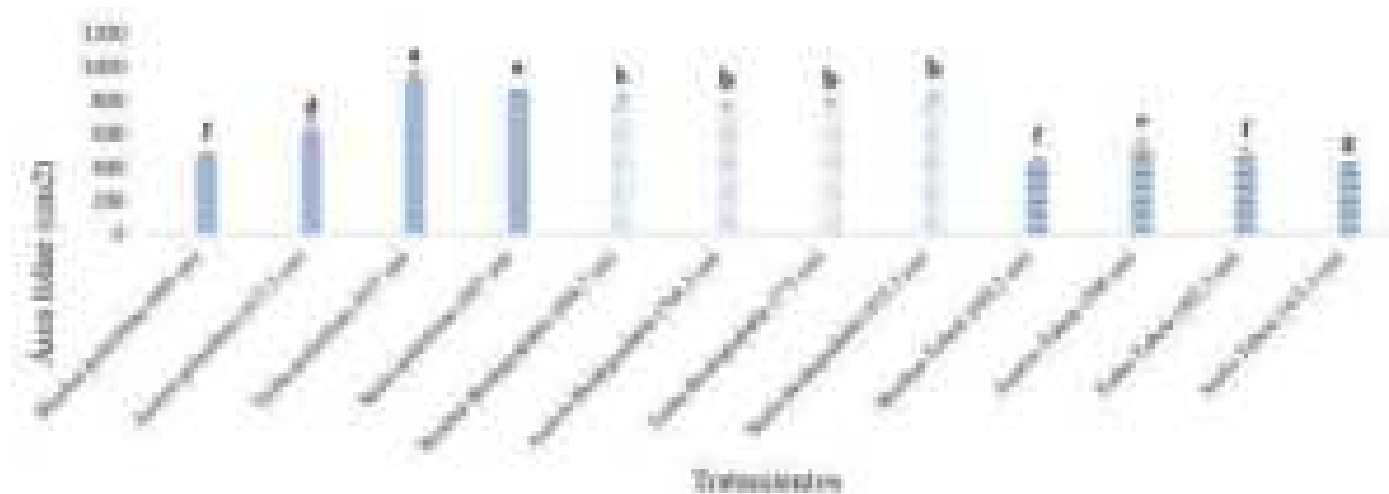


Figura 10. Media del área foliar de *Leucaena salvadorensis*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

De la misma manera se destaca entre los tratamientos el que obtuvo el mejor resultado, el tratamiento turba-polietileno (Figura 11) con la especie *Leucaena salvadorensis*, concordando con Conforme (2021), donde demuestra la importancia del sustrato en el género *Leucaena* para un desarrollo adecuado, por lo que, a través de este estudio demuestra que la turba es un sustrato que en este género favorece al buen desarrollo del área foliar.

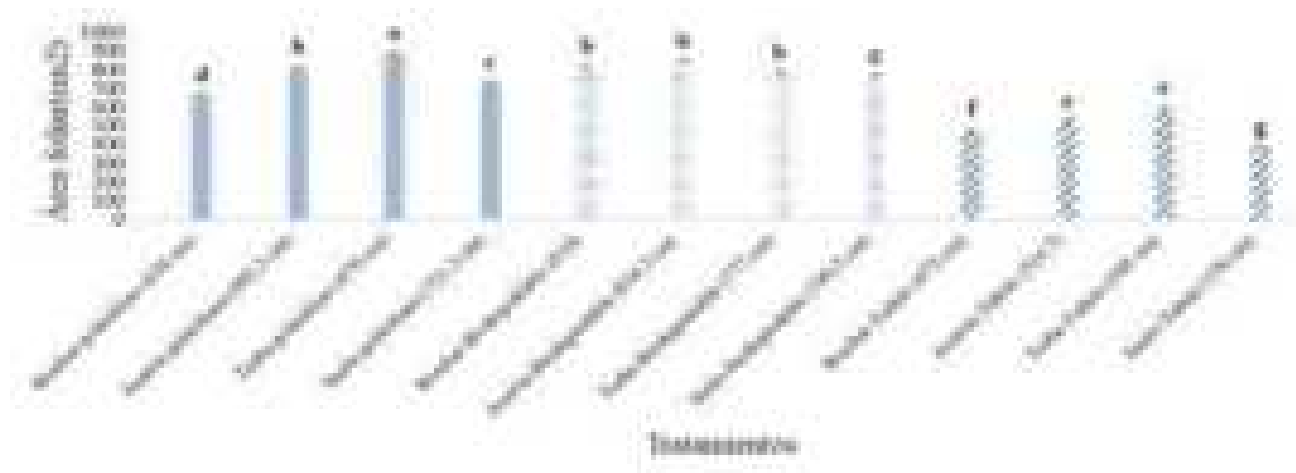


Figura 11. Área foliar de *Calliandra calothyrsus*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

De la misma forma, el tratamiento 7 con un valor de 879 cm² con el envase turba-polietileno y la especie *Calliandra calothyrsus* fue una de las que respondieron mejor al desarrollo de su área foliar, demostrando que la turba es un sustrato que da buenos resultados en viveros forestales así nos lo menciona Suazo (2020), donde se ha experimentado con plantas forestales y mediante estudios que respaldan los datos obtenidos en este estudio (Figura 12).

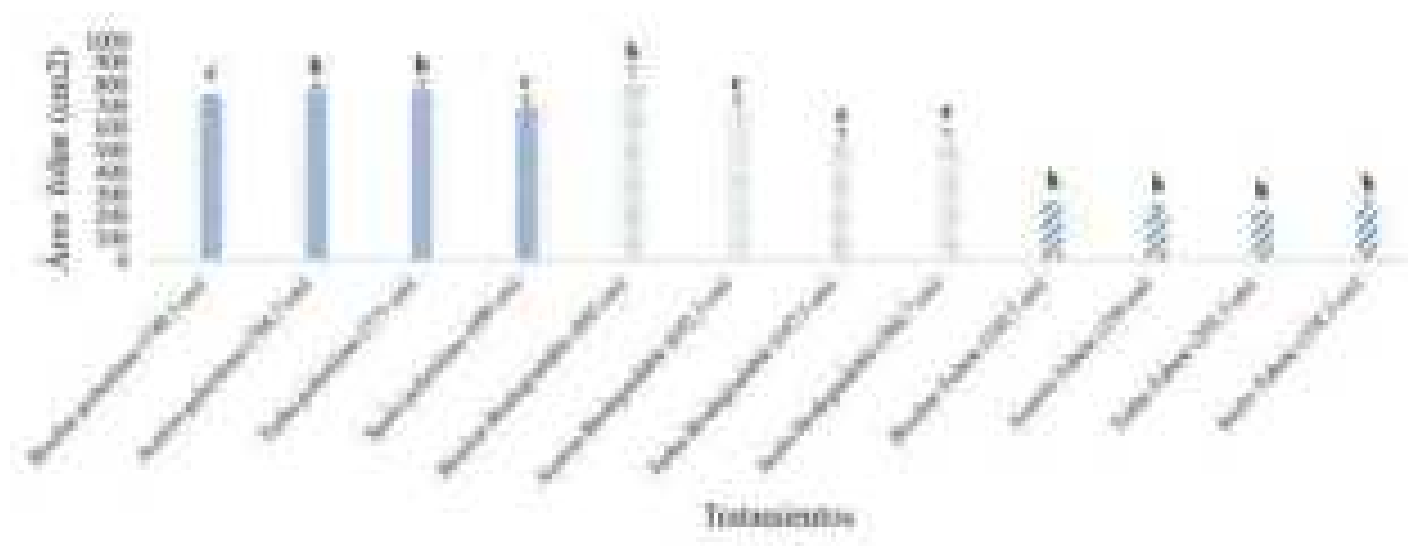


Figura 12. Área foliar de *Mimosa tenuiflora*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

Mediante los análisis para determinar el área foliar de las tres especies arbóreas y concordando con los resultados visibles en la gráfica, demuestra que; el envase tubete es el menos recomendado para el desarrollo del área foliar de las plantas, considerando que en las tres especies los resultados son negativos, sin variaciones significativas con los diferentes tratamientos, por lo que concuerda con Martínez *et al.* (2024), donde se expone que el uso de tubete al ser un contenedor de menor volumen, afecta el crecimiento y el desarrollo foliar.

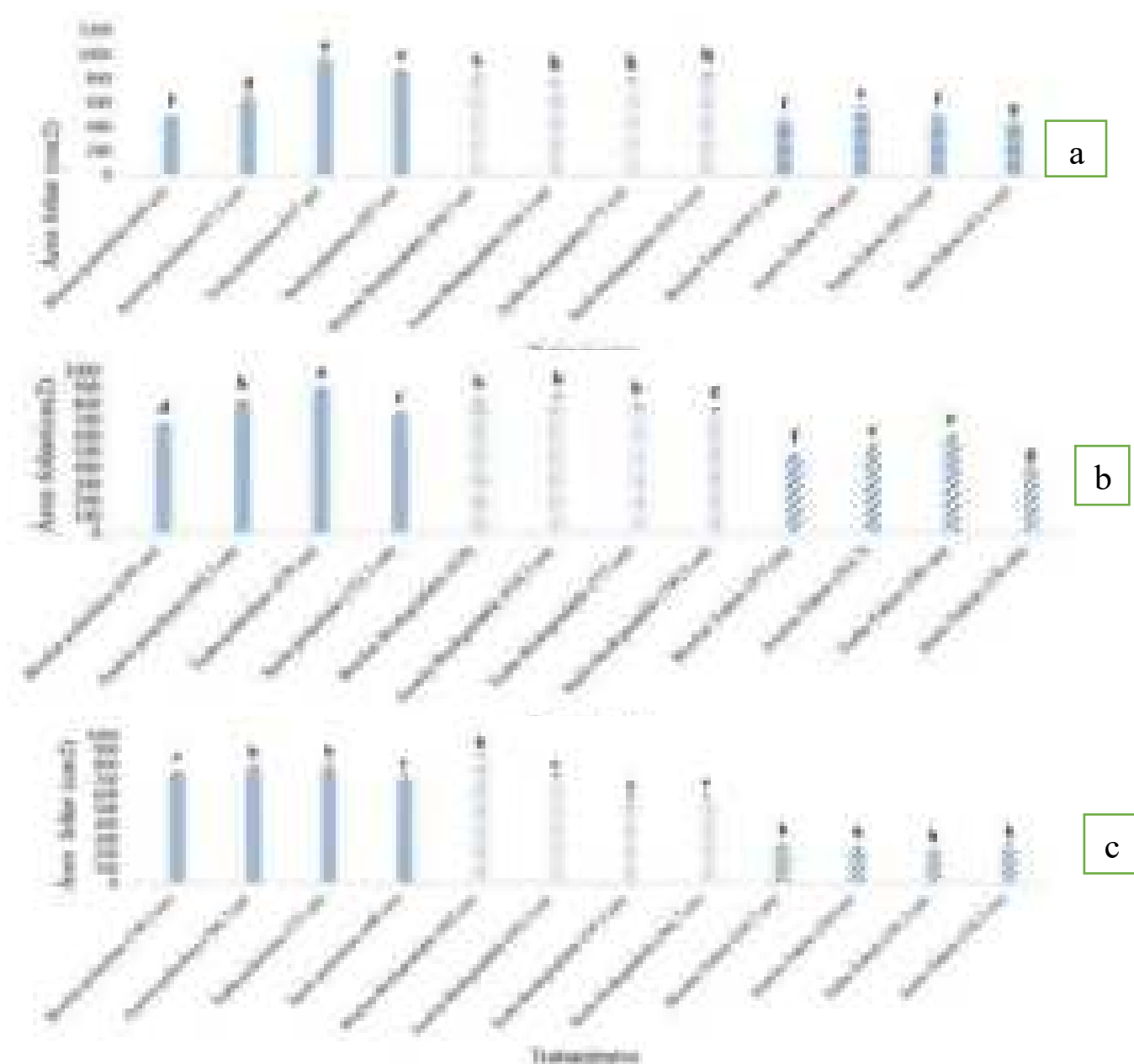


Figura 13. Promedio de área foliar en (cm²) de; a. *Leucaena salvadorensis* b. *Calliandra calothyrsus* c. *Mimosa tenuiflora* utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

6.5. Número de hojas

Para la variable de numero de hojas, se realizó el análisis estadístico con un p-valor de 42,17 ** lo que indica diferencias significativas entre los tratamientos, al momento de realizar el análisis demuestra que el tratamiento con un promedio de 23,8 de numero de hojas (Figura 15) con el sustrato turba- biodegradable y la especie *Leucaena salvadorensis* es el que posee mejores resultados.

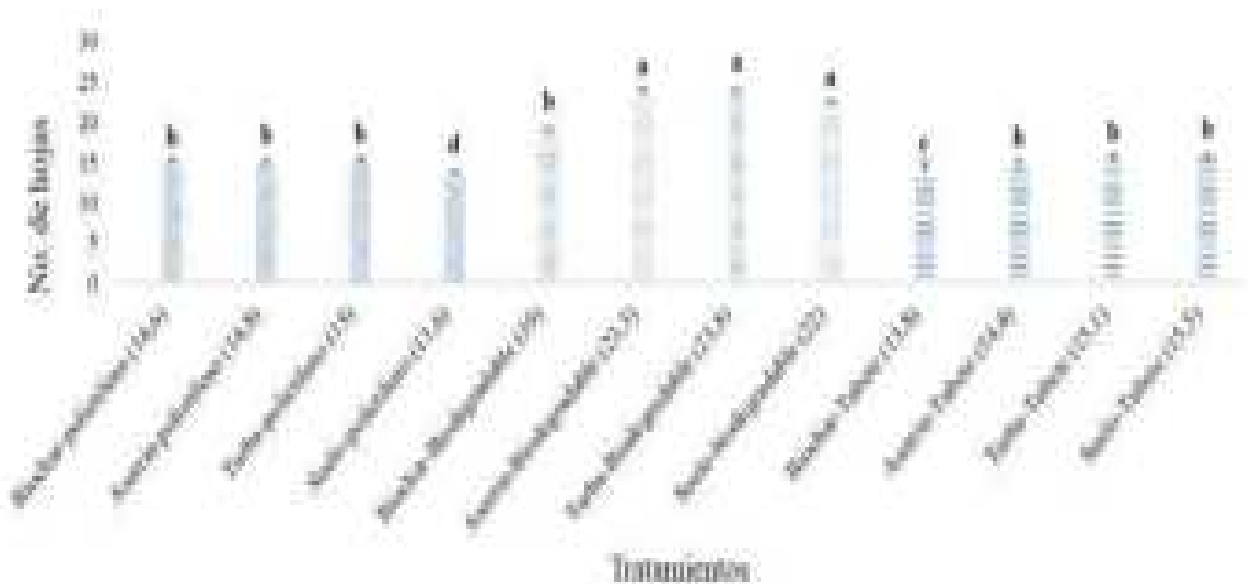


Figura 14. Media del número de hojas de *Leucaena salvadorensis*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor

El aumento en el número de hojas concuerda con el estudio de Castro *et al.* (2018), donde la turba pone a disposición diferentes nutrientes permitiendo un mayor desarrollo de las hojas, es así que se comprueba con los tratamientos 14 con 23,3 aserrín-biodegradable (Figura 15), el tratamiento 16 con 22 suelo-biodegradable (Figura 15), demostrando que para número de las hojas ha tenido un mejor desarrollo la especie *Leucaena salvadorensis* con el envase biodegradable.

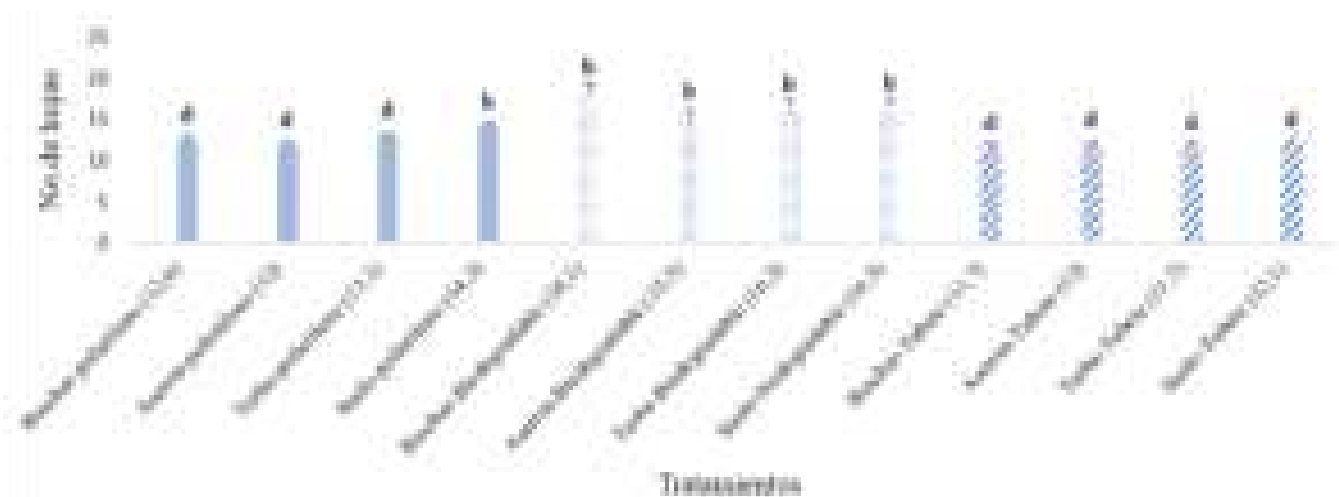


Figura 15. Media del número de hojas de *Calliandra calothyrsus*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

Para la especie *Calliandra calothyrsus*, el número de hojas es reducido tanto para el envase de polietileno como para el envase tubete, dejando entre visto que no es el factor sustrato lo que influye en esta variable, pero, si influye el tipo de envase para la cantidad de hojas de cada planta.

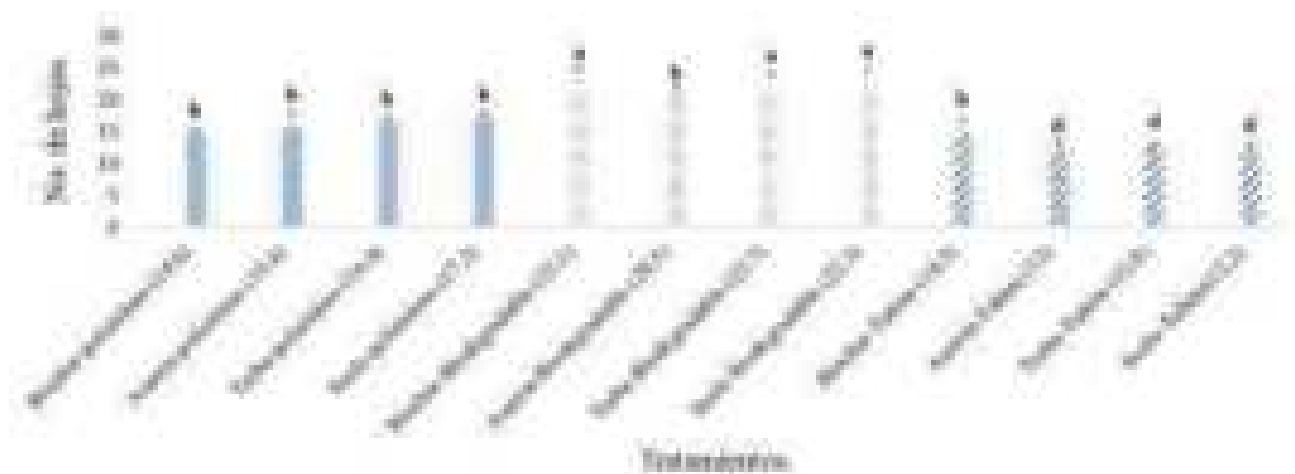


Figura 16. Media del número de hojas de *Mimosa tenuiflora*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

Por otra parte, también el tratamiento 21 con 23,1 biochar-biodegradable, el tratamiento 23 con 22,7 turba-biodegradable y el tratamiento 24 con 22,3 suelo-biodegradable (Figura 17) demostraron tener entre los mejores resultados para la especie *Mimosa tenuiflora* con el envase biodegradable, en cuanto a la *Calliandra calothyrsus* se ven resultados no tan favorables, lo que verifica que el envase biodegradable si tiene un efecto directo en esta variable (Susel 2018).

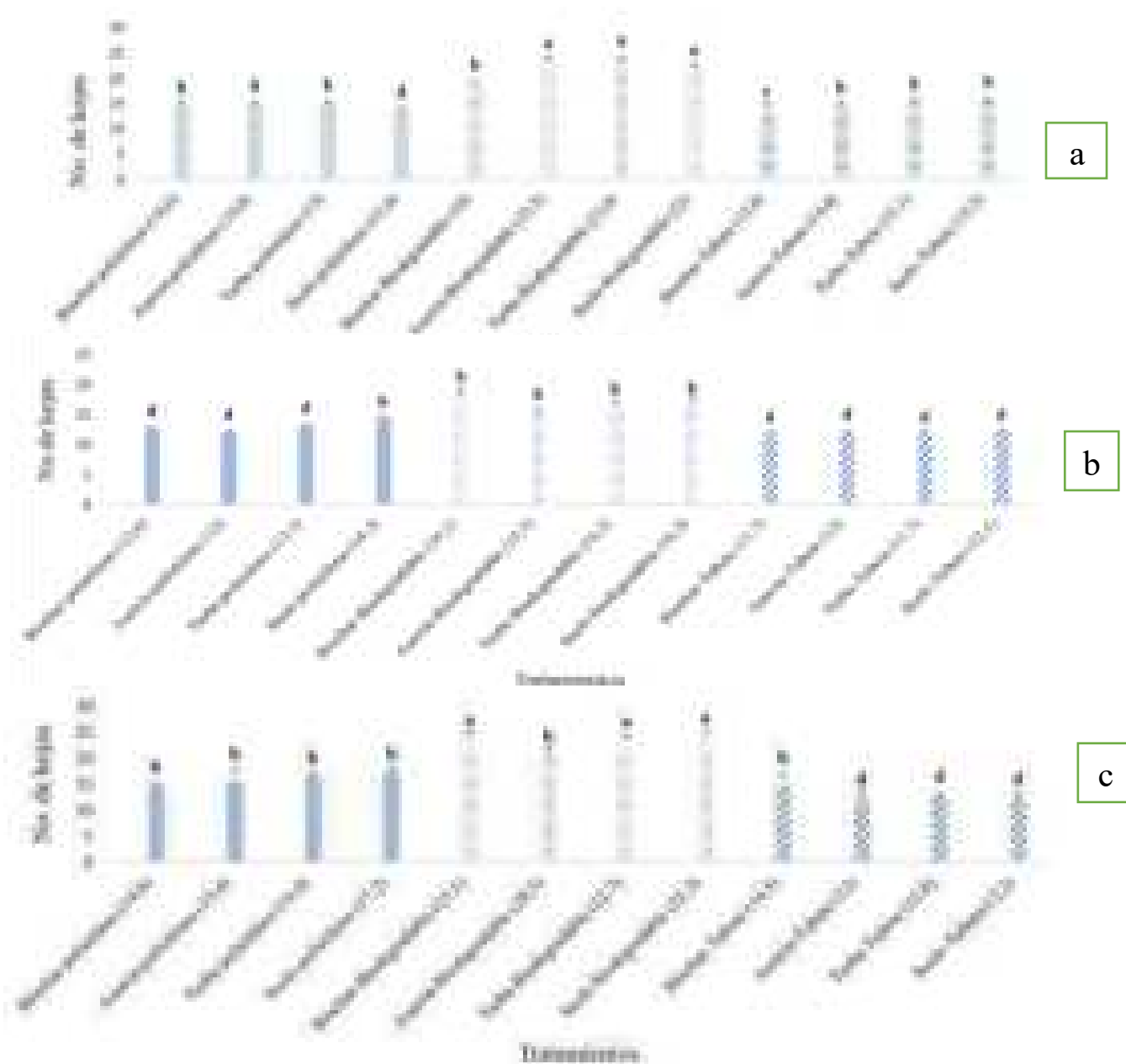


Figura 17. Promedio del número de hojas de; *a. Leucaena salvadorensis* *b. Calliandra calothyrsus* *c. Mimosa tenuiflora* utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

6.6. Índice de lignificación

Al realizar los datos tomados de cada una de las plantas, mediante el análisis estadístico ANOVA con el teste al 5% para el índice de lignificación, según el análisis *Scott-Knott* el valor para lignificación es 32,71 **, los asteriscos nos dan a entender que si hay diferencias y nos muestra en cuales hay mayor efecto con sus respectivos tratamientos, tales como el tratamiento 36 el cual es suelo-tubete es el que mejor lignificación tiene 38,75%, 32, y 36,94 % suelo- biodegradable de la especie *Mimosa tenuiflora* (Figura 20).

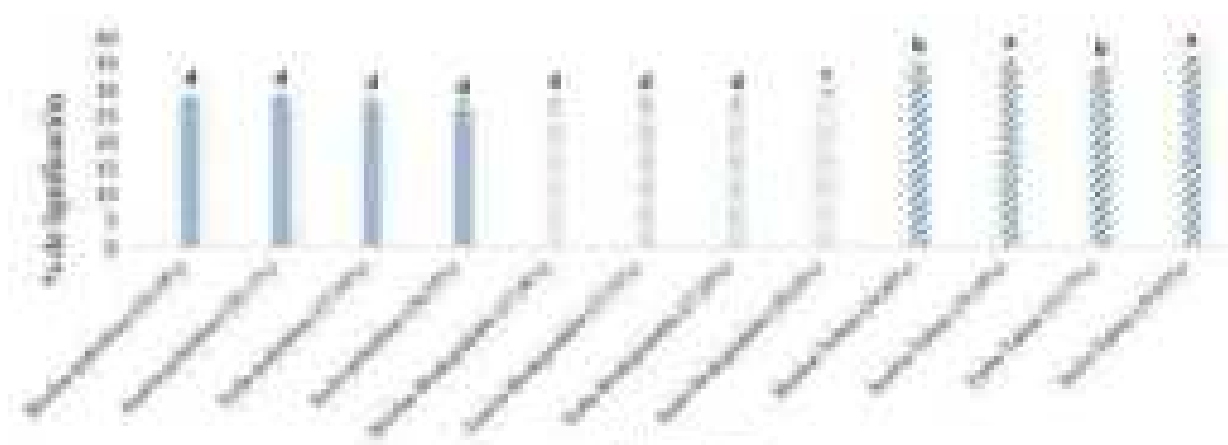


Figura 18. Índice de lignificación de *Leucaena salvadorensis*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

De la misma manera, los tratamientos 28 suelo- tubete y 26 con aserrín-tubete tiene resultados satisfactorio de lignificación para la *Leucaena salvadorensis* (Figura 19), no obstante, no se observa los mismos resultados para los demás tratamientos con lo diferentes envases.

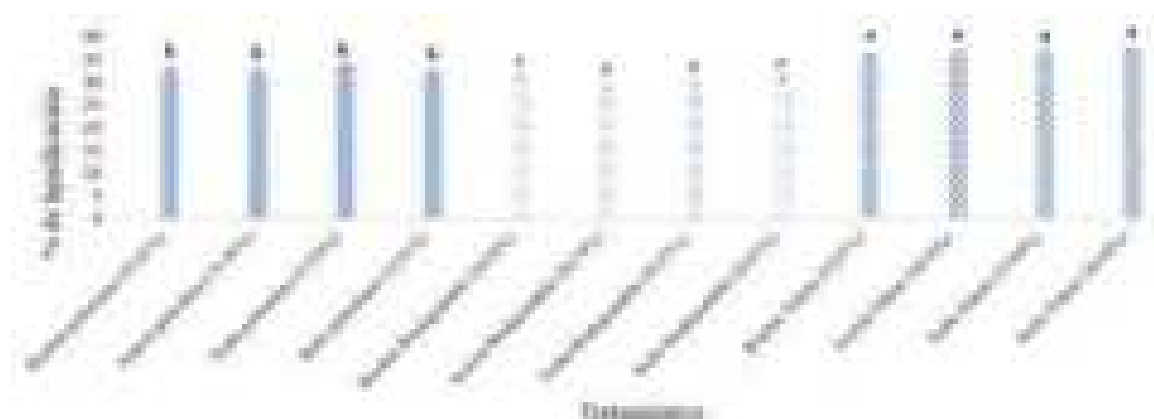


Figura 19. Índice de lignificación de *Calliandra calothyrsus*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.

Así mismo, los tratamientos (32,30,29 y 31) del envase tubete con los cuatro tratamientos dieron como los mejores resultados estadísticamente para la especie *Calliandra calothyrsus*, del mismo modo los tratamientos en la especie *Calliandra* para los cuatro tratamientos con el envase de polietileno da un resultado favorable (Figura 20). Es así que Buamscha *et al.* (2012) menciona que: “El uso de tubetes induce a una mayor lignificación en el tallo de las plantas y genera un sistema radicular más adecuado para la adaptación al campo definitivo con un buen atributo ficológico como es la lignina.

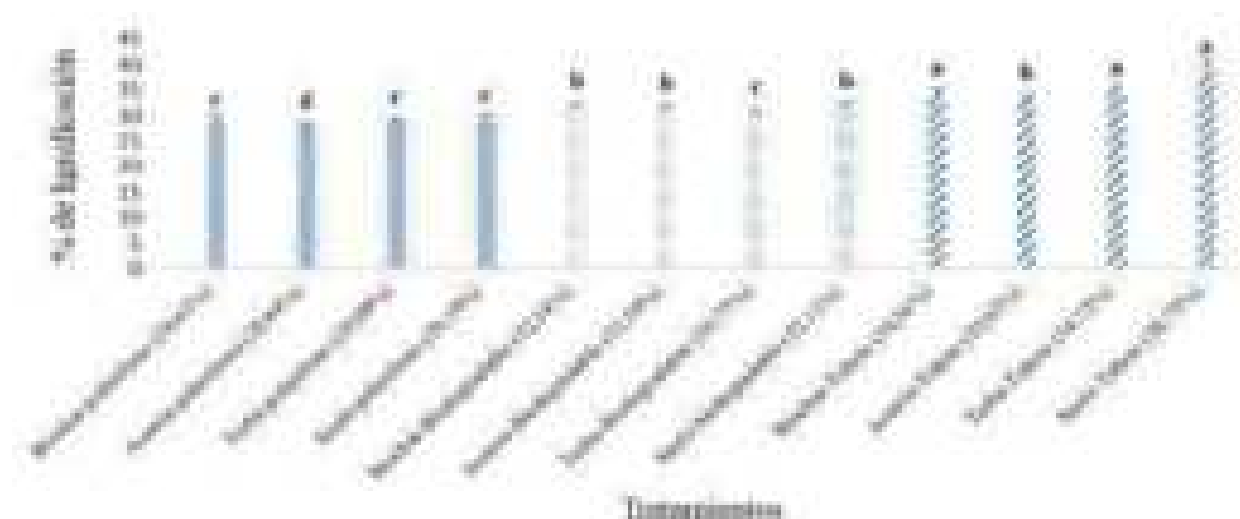


Figura 20. Índice de lignificación de la *Mimosa tenuiflora*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases, en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.

Mediante resultados reflejados en las gráficas de la variable, se demuestra que los niveles de lignificación son adecuados coincidiendo con Rueda- Sánchez *et al.* (2014) el cual menciona que, una plántula con un índice arriba de 11 % es de alta calidad en cuanto a lignificación.

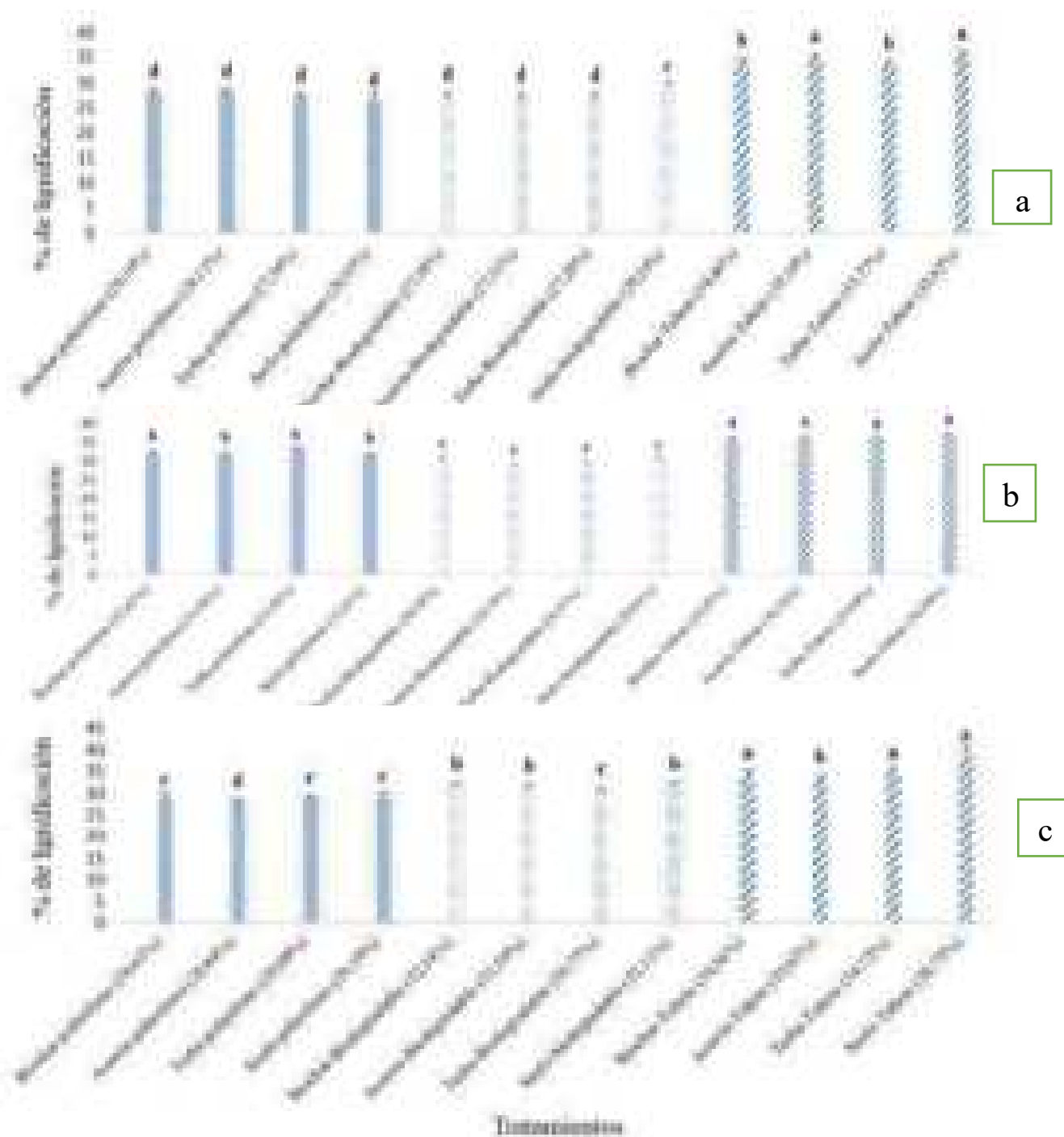


Figura 21. Índice de lignificación de; a. *Leucaena salvadorensis* b. *Calliandra calothyrsus* c. *Mimosa tenuiflora* utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Caticamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

6.7. Índice de Dicksón

Mediante análisis estadístico indican que si existieron diferencias significativas entre los tratamientos. Entre los cuales el tratamiento numero 5 es el que tiene el mejor índice de calidad de Dicksón, el cual corresponde a la especie *Calliandra calothyrsus* con el tratamiento de biochar con el envase de polietileno con 0,07 (Figura 24) seguido del envase de polietileno con la especie *Leucaena salvadorensis* y el sustrato suelo (Figura 23).

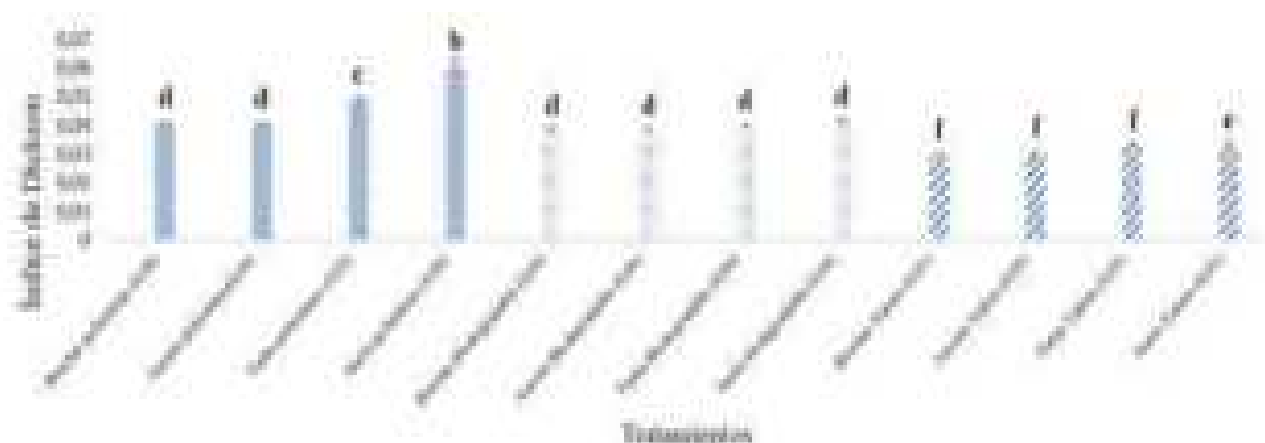


Figura 22. Media del índice de dickson de *Leucaena salvadorensis*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catabamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

La especie *Leucaena salvadorensis* en el envase de polietileno tiene resultados óptimos en cuanto al resto de los envases debido a sus características físicas como resistencia, durabilidad, facilidad del manejo y volumen del sustrato se obtienen plántulas de alta calidad morfológica (Prieto 2007).

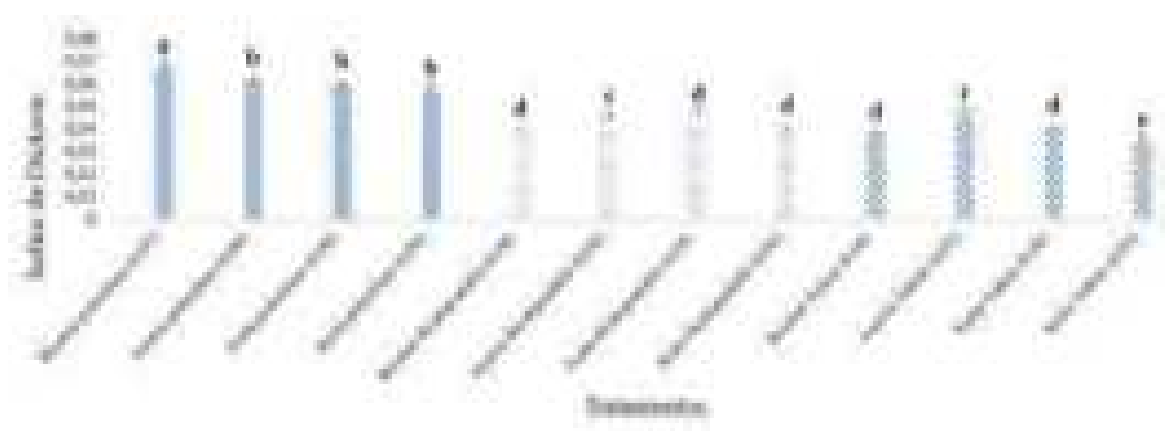


Figura 23. Índice de Dickson para *Calliandra calothyrsus*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catabamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

De esta manera, González *et al.*(2019), nos indica que, mediante la investigación coinciden con que el uso del biochar tiene un gran efecto en la calidad de las plantas en vivero, las cuales son de mejor calidad y con mayor capacidad de establecimiento en campo, ya que este índice representa el mejor parámetro para indicar cual es la calidad optima de una plántula, expresando el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez , evitando la selección de plántulas más altas pero más débiles y descartando plántulas de menor altura.

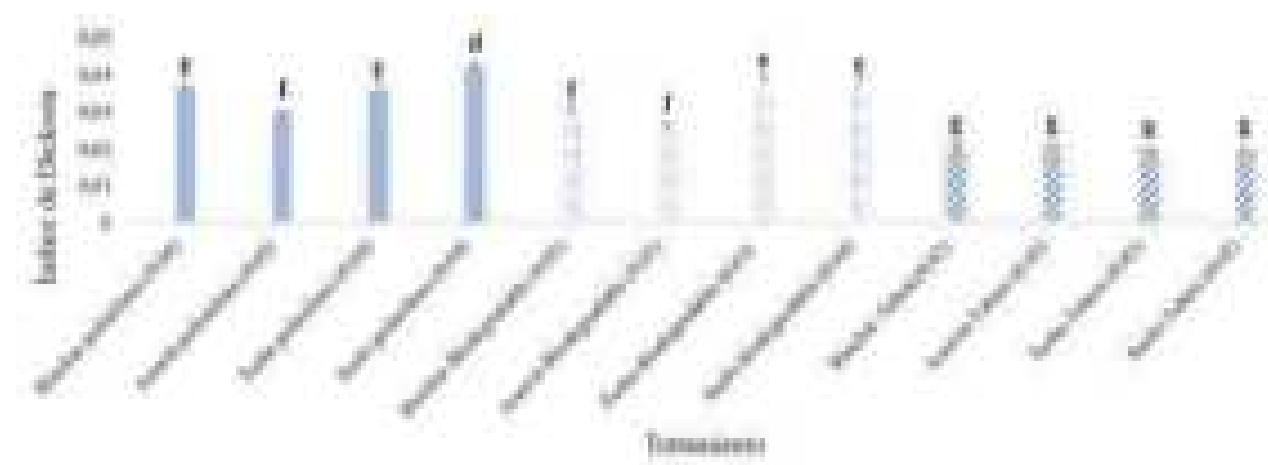


Figura 24. Índice de Dickson para *Mimosa tenuiflora*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

De esta manera, el análisis demuestra que, las plantas en los tubetes tienen malos resultados en cuanto a calidad, lo que se ve reflejado en los en las especies dendroenergéticas y los tratamientos (Figuras 23,24 y 25). Por ende, el uso de envase tipo tubete puede resultar en in índice de Díckson inferior, es decir, se obtienen plantas de menor calidad morfológica (Rada 2014).

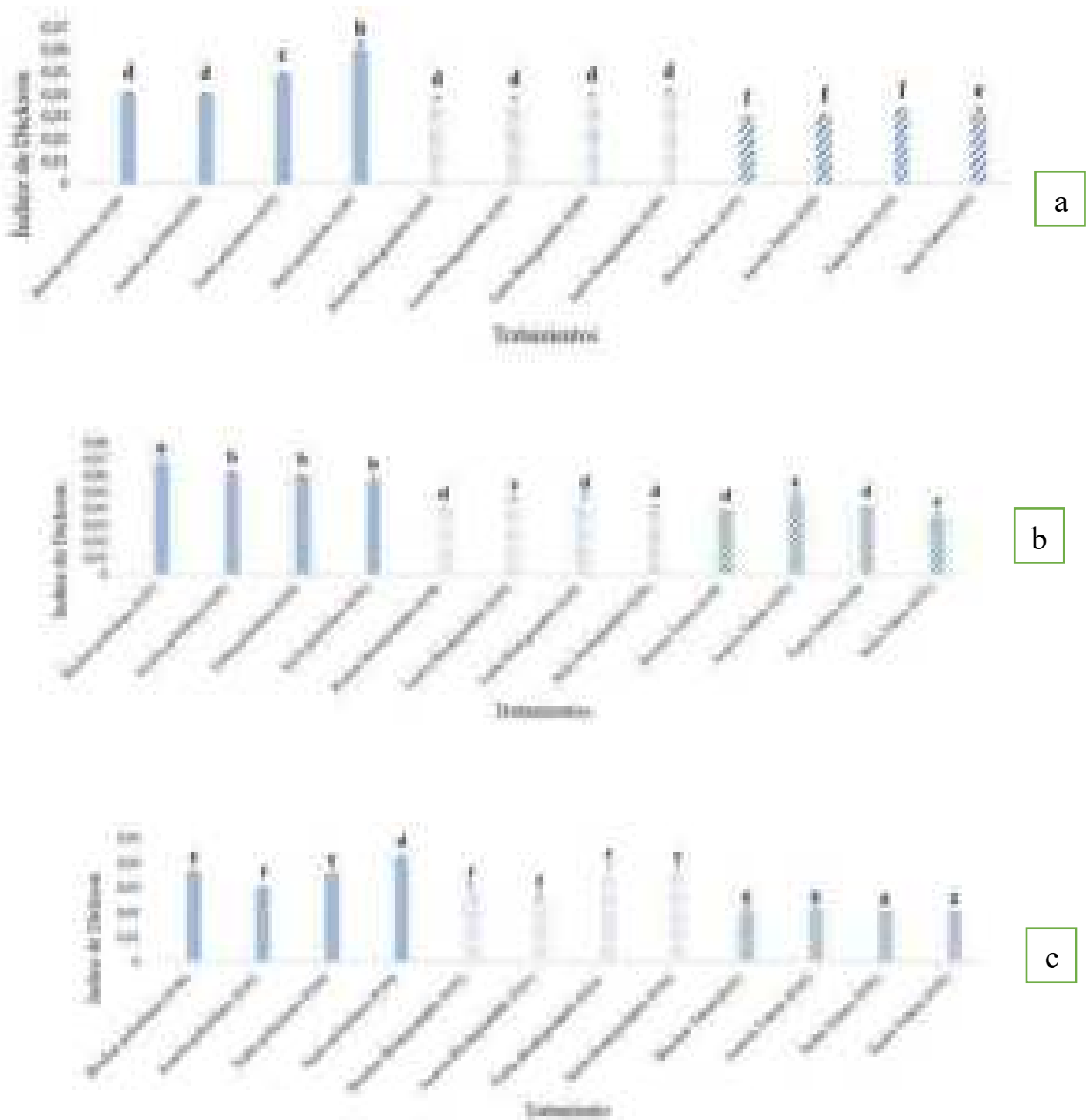


Figura 25. Promedio del índice de dickson de; a. *Leucaena salvadorensis* b. *Calliandra calothyrsus* c. *Mimosa tenuiflora* utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

6.8. Índice de esbeltez

Mediante el análisis estadístico para determinar las plántulas con mejor índice de esbeltez se realizó la prueba estadística de medias de Teste *Scott-Knott* por la prueba F al 5% obteniendo un p-valor de 2,18** indicando que si existen diferencias significativas entre los 36 tratamientos con los respectivos sustratos y envases. Los mejores tratamientos con niveles óptimos fue 31 (Anexo 9) (31, 25, 28, 32 y 26) de los cuales el tratamiento 31 con 8 IE, con el Sutra turba en el envase de tubete con la especie *Calliandra calothyrsus* es el que mejores resultados obtuvo.

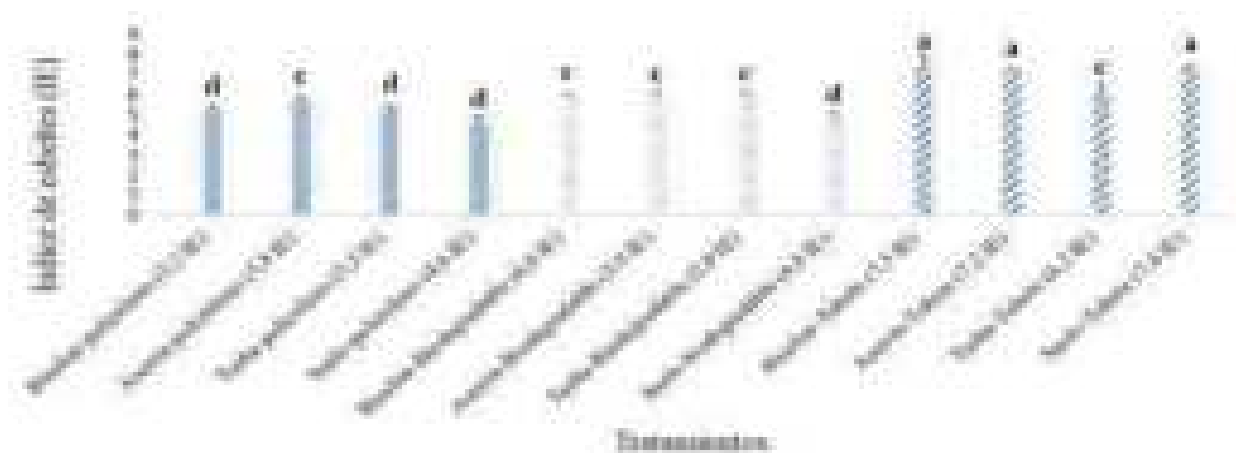


Figura 26. Índice de esbeltez de la especie *Leucaena salvadorensis*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

Los tratamientos 25, 26 y 28 que corresponden a los tratamientos de biochar, aserrín y de suelo son los mejores, de todos los tratamientos con las especies la *Leucaena* es la que mejores resultados obtuvo lo que indica que para esta especie el envase de tubete es el que da mejores resultados.

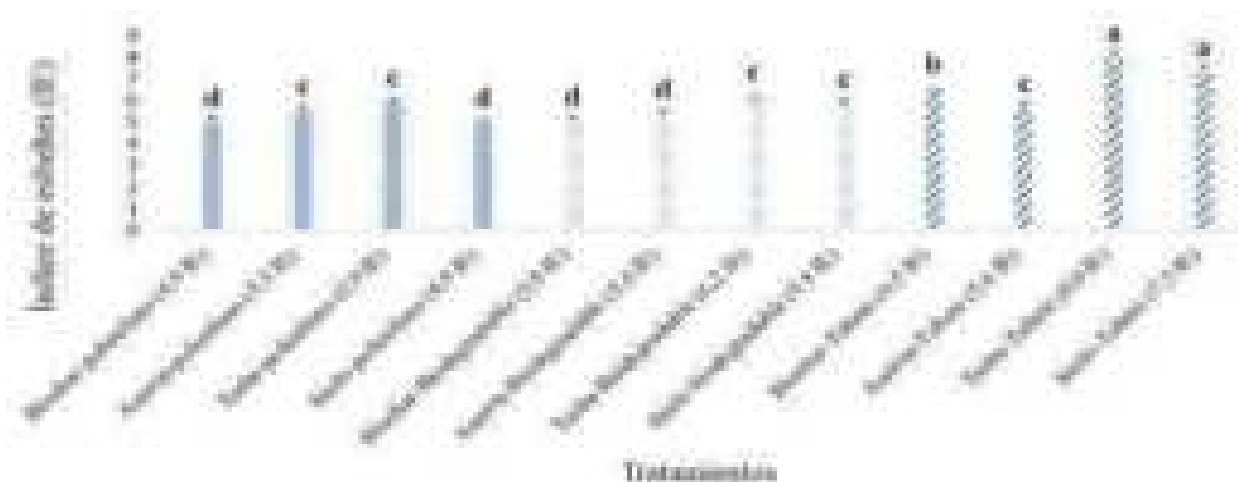


Figura 27. Índice de esbeltez de *Calliandra calothyrsus*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

El índice nos dice que hay rangos óptimos, si los valores son menores de 5 esto quiere decir que las plántulas son robustas, pero con poca altura, si los valores están de 5-10 es considerado como optimo y si los valores son mayores de 10 esto indica que la planta es delgada y muy alta. Así nos lo dice Fajardo *et al.* (2024), donde en un estudio de *Pinus* estudia como el tipo de envase es fundamental para un buen índice en las plántulas en viveros forestales.

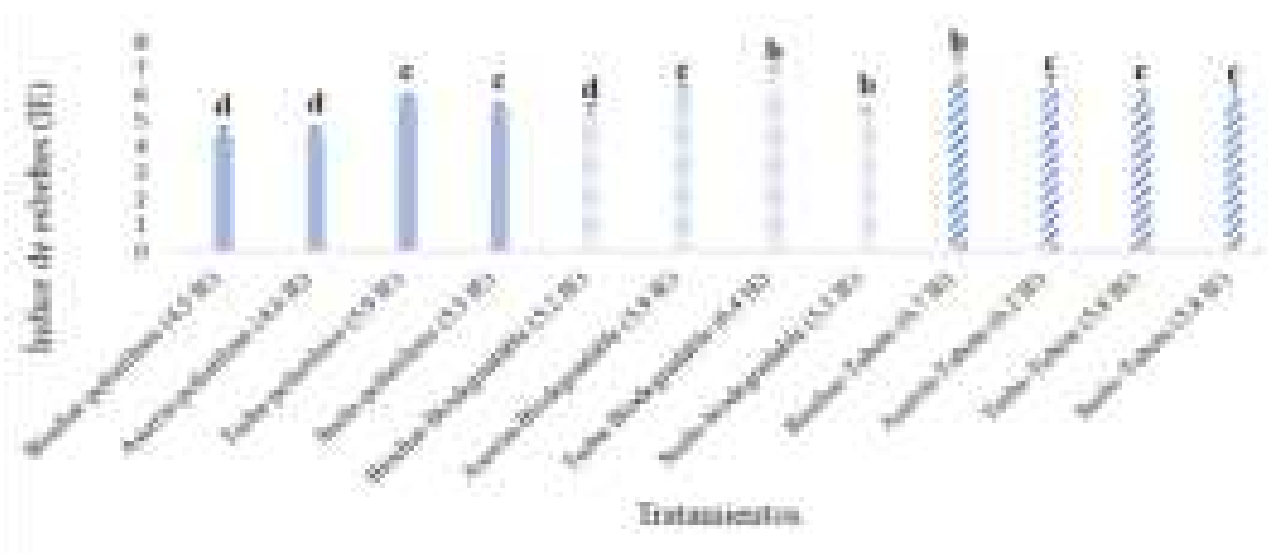


Figura 28. Índice de esbeltez de *Mimosa tenuiflora*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

Para la especie *Mimosa tenuiflora* el que mejor resultados obtuvo fue para el sustrato biochar-tubete con 6,7 IE, en comparación con los demás sustratos y envases, demostrando que para este índice si es fundamental el tipo de envase que se ocupara en este índice, ya que para tener un nivel de esbeltez ya que, aunque no se encuentren como los más altos, si entran en los rangos óptimos mayores de 5 de IE.

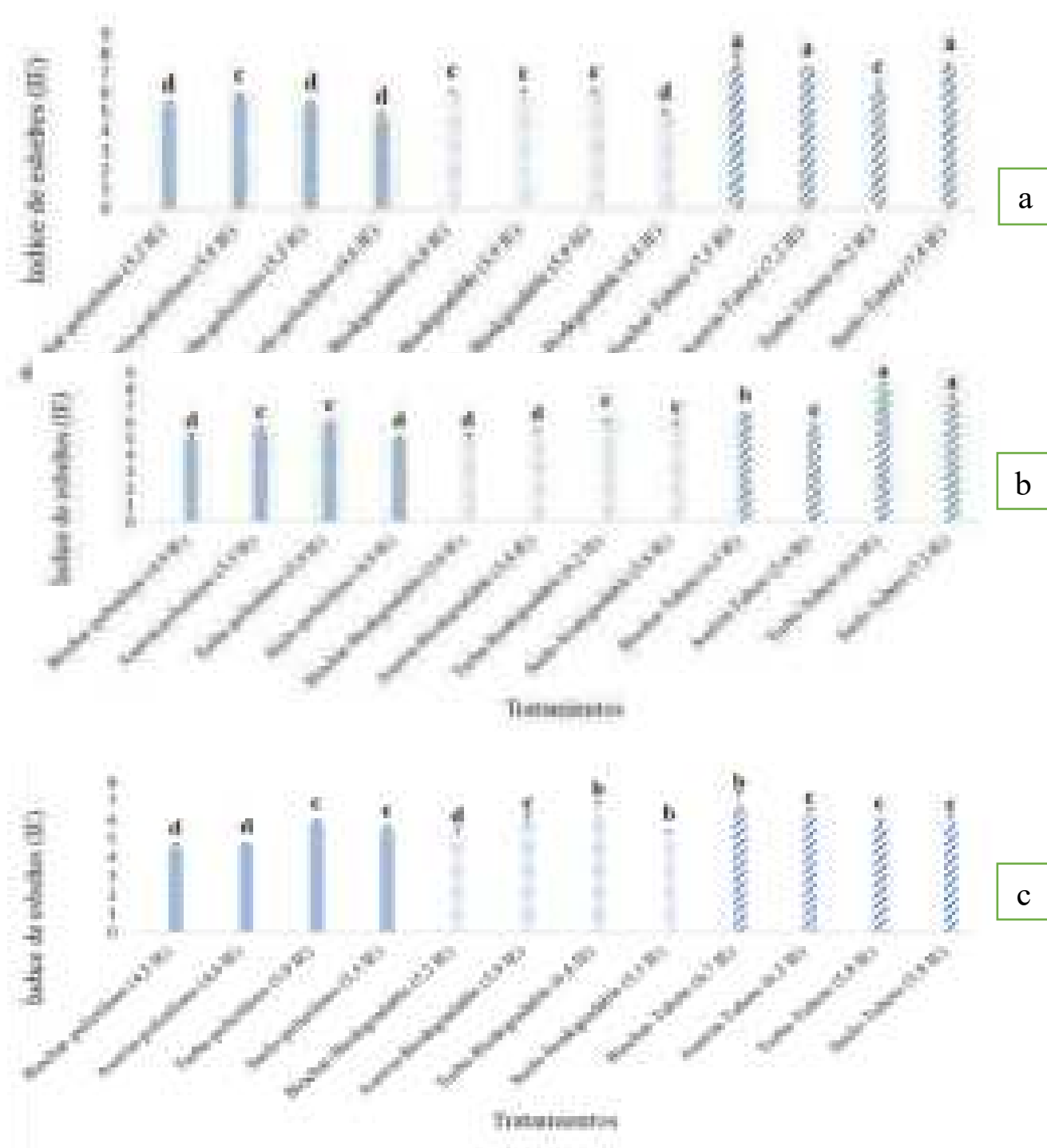


Figura 29. Promedio del índice de esbeltez de; a. *Leucaena salvadorensis* b. *Calliandra calothyrsus* c. *Mimosa tenuiflora* utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Caticamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%

6.9. Biomasa área y biomasa de raíz

Mediante el análisis estadístico con un p-valor de 64,97 ** para la variable biomasa seca aérea y un p-valor de 3,95 ** de biomasa de raíz seca indicando que en las dos variables hay diferencias significativas. Entre los tratamientos con mejores resultados están los tratamientos (22, 8, 17,18,5, 19,23,1 y16) con los mejores resultados en biomasa aérea, siendo el mejor el tratamiento 22 (Anexo 6) con el sustrato aserrín, el envase biodegradable y la especie *Mimosa tenuiflora* y así mismo cumple para ambas, turba-biodegradable para *Mimosa* y *Calliandra* (Figura 32 y 33).

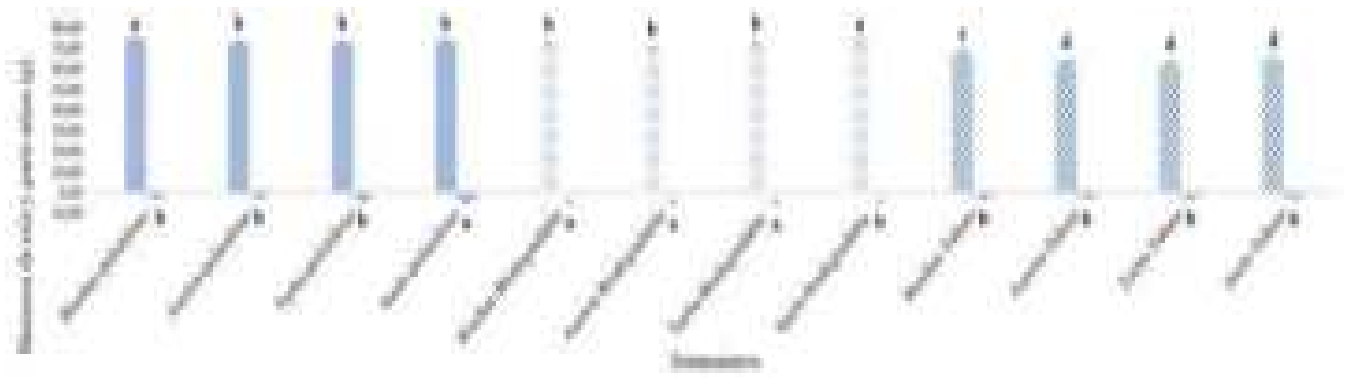


Figura 30. Biomasa aérea y biomasa de raíz de la especie *Leucaena salvadorensis*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.

La especie *Leucaena salvadorensis* en la mayoría de los sustratos tienen buenos resultados al igual que en la biomasa de raíz con los mejores tratamientos (11,12,15,19,14,23,10,24,4 y 13) en las cuales la *Leucaena* es de las que mejores resultados obtuvo en el envase biodegradable,

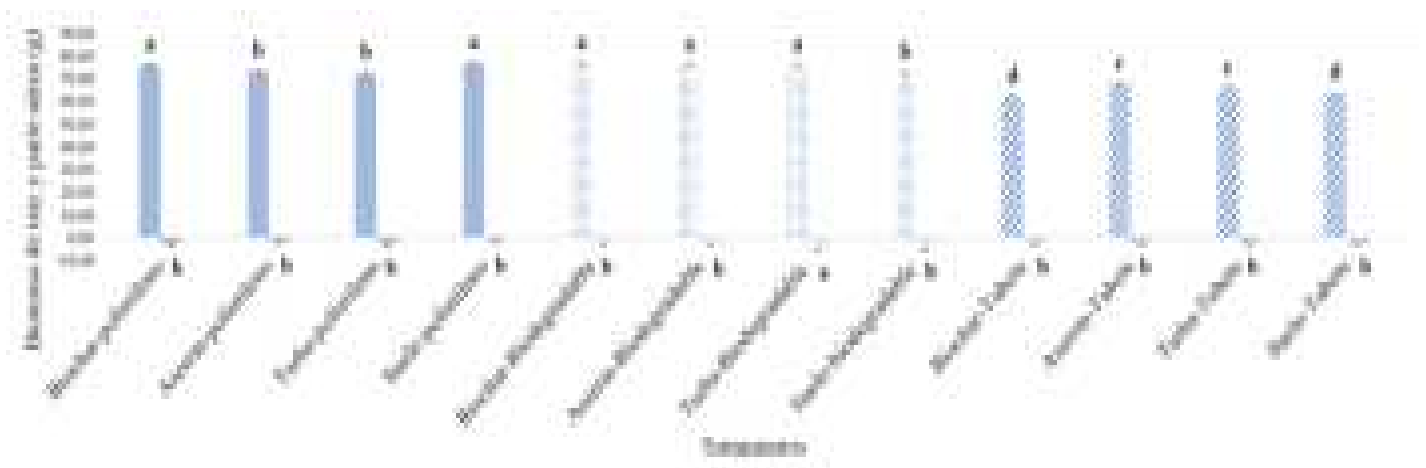


Figura 31. Biomasa aérea y biomasa de raíz de *Calliandra calothyrsus*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.

Las únicas que tanto en raíz como biomasa aérea tienen ambos resultados son los tratamientos 19 con la especie *Calliandra* en el envase biodegradable y el sustrato turba y 23 la *Mimosa* con el sustrato turba con el envase biodegradable. De igual manera, los resultados obtenidos, refutando que el sustrato turba es uno de los mejores para biomasa de la parte aérea y la biomasa de raíz, lo confirma (Suazo 2020).

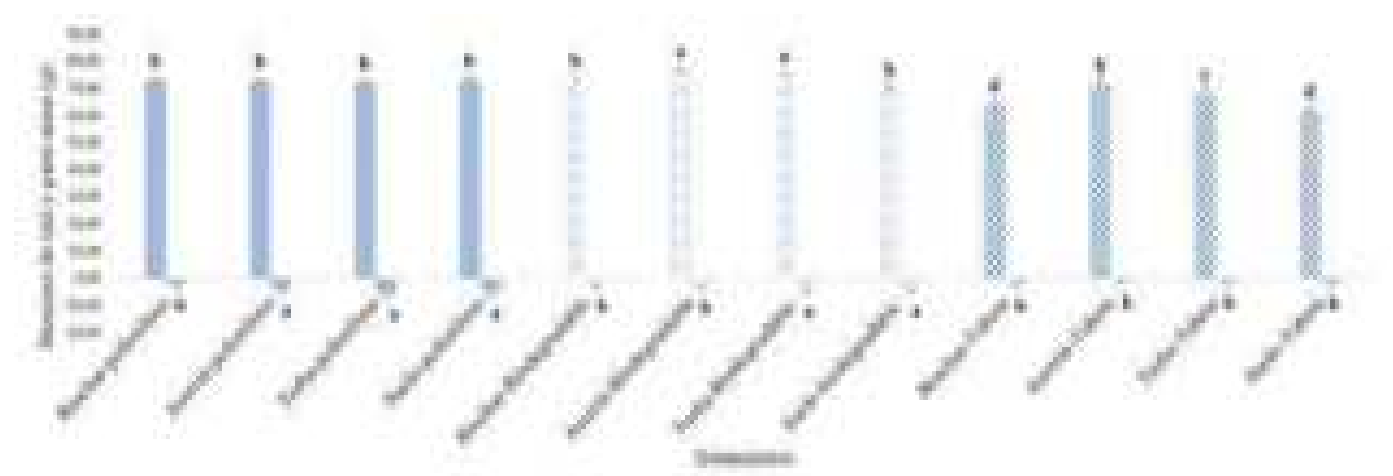


Figura 32. Biomasa aérea y biomasa de raíz de *Mimosa tenuiflora*, utilizando los cuatro sustratos y los tres tipos de envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.

Para el envase biodegradable se obtuvieron los mejores resultados, al igual que la especie anterior, la *Mimosa* tiene un buen desarrollo de la biomasa aérea y biomasa de raíz concordando con Muñoz (2011), donde menciona que, la biomasa total de las especies (aérea y radicular) es significativamente mejor en los envases biodegradables.

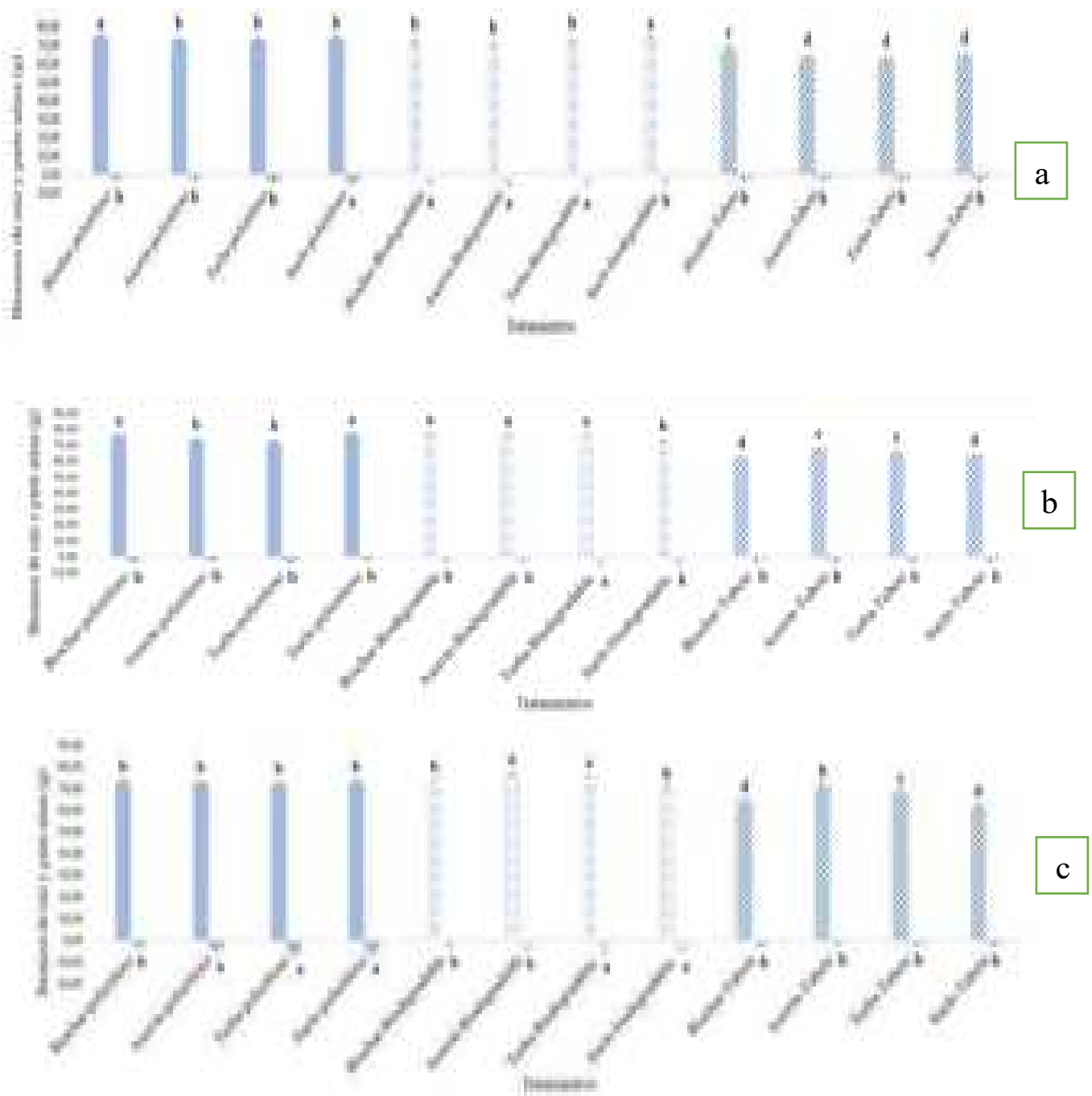


Figura 33. Promedio de biomasa aérea y biomasa de raíz de; *a. Leucaena salvadorensis* *b. Calliandra calothyrsus* *c. Mimosa tenuiflora* utilizando los tipos de sustratos y envases en el estudio de calidad de plántulas en Catacamas, Olancho. Barras indican error estándar de la media. Letras indican diferencias significativas a un P-valor de 5%.

6.10. Resultados del análisis de los costos económicos de los 4 sustratos y los tres envases

En el costo de preparación del sustrato No.1, el cual se elaboró en el vivero sauces de la Universidad Nacional de Agricultura, se tomó en cuenta, el barril de metal el cual se estuvo utilizando para realizar la pirolisis, como también el daño a láminas de zinc donde se colocaba la braza para el posterior enfriamiento, la compra de materiales para la preparación de bocashi como la panela de dulce y como también la compra de la levadura.

La madera utilizada fue obtenida dentro de la Universidad Nacional, ahorrando en gastos para la compra de dicho material.

Para la preparación del sustrato S2 se utilizó de la misma manera que el sustrato No. 1, materiales a la disposición, que se adquieren de manera fácil. Para este sustrato se reutilizo la tierra de bolsas que ya no se ocupaban en el vivero, ahorrando la compra del suelo, el biochar fue realizado con la madera recolectada del vivero y el bocashi de los gastos de lo que se realizó en el sustrato 1 y el gasto solo se refleja en la compra del fertilizante.

Para el proceso de la elaboración del tratamiento con turba se, compro dos fardos de sustrato Pindstrup®, turba que se ocupó para el tercer tratamiento, con un costo de 1500 por fardo, lo que equivale a un total de 3000 lempiras.

El tubete se compró de una empresa de Puerto Cortés Agrotech®, a un precio de 8 lempiras por unida, con un total de 4000 lempiras en total, pero dicho material al estar en la costa norte del país fue requerido trasladarlo, el cual se mandó por *Cargo Expreso* hasta Catacamas, Olancho con un conto de envió de L 185.

Para la compra del envase de polietileno, la compra se realizó directamente en Tegucigalpa, la cual tuvo un costo de 3000 lempiras, pero esta cantidad se repartió entre tres personas, quedando un total de 1000 lempiras por tesista.

La compra del envase biodegradable se realizó desde China, con un valor de 6000 lempiras en total, pero este mismo se dividió entre tres personas, tomando cada quien dos paquetes de 200 bolsas cada uno.

Mediante análisis económicos, se puede inferir que los precios de una planta producida tanto en el envase de polietileno como en tubetes son prácticamente iguales y son los de menor precio, se recomienda el sustrato biochar y sustrato suelo. El envase biodegradable es el que supera en cada combinación de sustrato a un lempira, no obstante si se tienen en cuenta los resultados de la investigación donde las plantas en el envase biodegradable tienen un mejor desarrollo radicular y aérea, y que ocupa menos mano de obra al momento de llevar la plántula a capo, que no contamina y que a diferencia del polietileno hay un grado de contaminación con los restos de bolsas, reduciendo mano de obra y tiempo de trabajo, se recomienda el envase biodegradable.

Tabla 6. Precio por unidad de una plántula de las tres especies arbóreas con los diferentes envases y sus combinaciones de sustratos

Especie	Envase	Sustrato	Precio por planta producida
<i>Leucaena</i> , <i>Calliandra</i> , y <i>Mimosa</i>	Polietileno	S1 (Biochar)	L 8.66
		S2 (Aserrín)	L 11.70
		S3 (Turba)	L 14.66
		S4 (Suelo)	L 11.66
<i>Leucaena</i> , <i>Calliandra</i> , y <i>Mimosa</i>	Biodegradable	S1 (Biochar)	L 9.25
		S2 (Aserrín)	L 12.25
		S3 (Turba)	L 15.25
		S4 (Suelo)	L 12.25
<i>Leucaena</i> , <i>Calliandra</i> , y <i>Mimosa</i>	Tubete	S1 (Biochar)	L 8.16
		S2 (Aserrín)	L 11.16
		S3 (Turba)	L 14.16
		S4 (Suelo)	L 11.16

VII. CONCLUSIONES

- a. La especie *Calliandra calothyrsus* germina de una mejor manera si se usas procesos pre germinativos en agua 24 horas antes de la siembra, mientras que le *Leucaena salvadorensis* tiende a podrir las semillas con grandes cantidades de agua en el riego y la *Mimosa* tiene una germinación más lenta que las otras.
- b. El desarrollo de las plántulas se da de una mejor manera con riegos controlados, debido a que los sustratos como el biochar y la turba pierden cantidades de agua más rápido, por lo cual mantener la humedad en los tipos de sustratos es fundamental para un buen desarrollo de las especies.
- c. Los índices muestran que las especies *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora* cuentan con los niveles óptimos de calidad, resaltando el envase de polietileno, el envase biodegradable con los sustratos que contienen turba, suelo y biochar, descartando el sustrato aserrín. De igual forma, el desarrollo radicular se da mejor en el sustrato turba, pero si se busca uniformidad en las plántulas, se recomienda las plantaciones en tubetes.

VIII. RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda la siembra de semillas de especies arbóreas dendroenergéticas nativas en arena en su parte germinativa con controles de riego constantes.
- b. En términos de sustratos, se recomienda el uso de biochar, suelo sin modificar y turba, los cuales ofrecen beneficios, mejorando el crecimiento radicular y aéreo de las plantas, reteniendo humedad, manteniendo la porosidad del suelo, aportando nutrientes y capturando gases de efecto invernadero al suelo, su preparación es con productos locales a costos mínimos y con veneficios a los productores a largo plazo, de tal manera que se recomienda su uso.
- c. Para el óptimo desarrollo de las plántulas, se recomienda el uso de envases de polietileno y biodegradable, ya que en ellos las plántulas tienen un mayor desarrollo. Como recomendación el envase que mejor colabora a la parte ambiental es el envase biodegradable y los costos son similares.
- d. Así mismo al momento de extraer la raíz se logró notar una gran cantidad de nódulos, características de muchas de las especies dendroenergéticas, distintiva de las *fabaceae*, plantas con potencial dendroenergético, seguir el estudio es fundamental para corroborar o refutar que las plantas con simbiosis con organismos como los rizobios tienden a la dendroenergía.
- e. Se recomienda realizar un estudio con estas mismas especies para monitorear el grado de lignificación en el tiempo, es decir, para conocer en qué edad o etapa en el vivero la plántula está en condiciones óptimas en cuanto a lignina para llevar a campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRONOTIPS (Consejo Nacional Agropecuario). 2024. Agronotips: Características de un buen sustrato (en línea, sitio web). Consultado el 4 de nov. 2024. Disponible en <https://www.portalfruticola.com/noticias/2023/08/02/caracteristicas-de-un-buen-sustrato/>
- Ahn, JH. Robertson, RM. Elliott, R.C. Gutteridge BM. 1995a. *Calliandra calothyrsus*: für die botanik in ihrem ganzen umfange. Journal 2 (21): 251-252.
- Álvarez, P; Pizarro, C; Barrio, M; Cámara, A; Bueno, J; Álvarez, A; Gutiérrez, I; Burslem. 2018. Evaluación DFRP de especies de árboles para la producción de energía de biomasa en el noroeste de España (en línea). Revista bosques 10.3390/f9040160. Consultado el 2 de nov. 2024. Disponible en <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/4/160>
- Arroyo Vinuesa, AV. 2016. Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor (en línea). Tesis ing. Mecánico. Quito, Ecuador. Consultado el 31 oct. 2024. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11994/3/ups-kt01220.pdf>
- Bracho, J; Pierre, F; Quiroz, A. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. Lara, Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Guárico-Venezuela (en línea). Revista. 1316-3361. Consultado el 4 de nov. 2024. Disponible en https://ve.scielo.org/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000200006

- Becamo Montecristo, SA. 2023. Proyecto para la conservación de las variedades de café en el parque cafetalero de Honduras (En línea). Tesis ing. Honduras. Consultado el 12 de nov. 2024. Disponible en <https://fundahrse.org/wp-content/uploads/2023/08/Proyecto-para-la-conservacion-del-cafe-Becamo.pdf>
- Buamscha, VA. 2012. Producción de plantas en viveros forestales (en línea). Tesis Ing forestal, Buenos Aires, Argentina. Consultado el 3 agos. 2025. Disponible en https://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf
- Camargo, R. 2000. Descripción, distribución, anatomía, composición química y usos de *Mimosa tenuiflora* (*Fabaceae-mimosoideae*) en México (en línea) revista biol. Trop 48(4): 939-954. Consultado el 29 oct. 2024. Disponible en [file:///C:/Users/dell/Downloads/Normas_IICA_CATIE%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/dell/Downloads/Normas_IICA_CATIE%20(1).pdf)
- CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, El Salvador, CAC Consejo Agropecuario Centroamericano, El Salvador). 2014. Programa Estratégico Regional para el Manejo de los Ecosistemas Forestales: Principales resultados (en línea). Comisión centroamericana de ambiente y desarrollo, consejo agropecuario centroamericano, San Salvador, El Salvador. 144 p. Consultado el 3 de nov. 2024. Disponible en <https://bvearmb.do/bitstream/handle/123456789/3516/PERFOR%20Programa%20Estrategico%20Regional%20para%20el%20Manejo%20de%20Ecosistemas%20Forestales.pdf?Sequence=1&isallowed=y>
- Castro, G; Aldrete, A; López, U; Ordaz, C. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilizante en el crecimiento de *pinus greggii* var. *australis* en vivero, Montecillo- Estado de México (en línea). Revista de Recursos Naturales Renovables 52(1), 115-127. Consultado 31 de jul. 2025. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000100115

Conforme Loor, VA. 2021. Propagación y prendimiento de *Leucaena* (AGÜIA) para uso forrajero en Río Verde Santa Elena (en línea). Tesis Ing. Agr. Santa Elena, Ecuador, UPSE. Consultado 17 agos.2025. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f8083522-9ff8-49e4-b3af-a1d13c0ece27/content>

Energético, C. (En línea). Revista Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Costa Rica (en línea). Revista de energía 978-84-15413-32-5. Consultado el 2 de nov. 2024. Disponible en <file:///C:/Users/dell/Downloads/librorebibir-2020capi.3.pdf>

Esquivel Briceño, Guevara, SC. 2017. Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los cultivos forestales lignocelulósicos en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio (En línea). Tesis Ing. Forestal. Costa Rica, UCE. Consultado el 4 de nov. 2024. Disponible en https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9975/impulso_tecnologico_produccion_transformacion_uso.pdf?Sequence=1&isallowed=y

Esquivel, E; Afif Khouri, A. 2017. Uso de 3PG como herramienta para modelar plantaciones dendroenergéticas de *Eucaliptus camaldulenses* en regiones de Biobío, Chile (Asturias). Calle Gonzalo Gutiérrez de Quirós s/n. 33600: 9854-58048.

Flores, P; Janeth, J; Gutiérrez, Ba; Dagoberto, A; Valverde, C; Jesús, M. 2019. Regrowth capacity of *Leucaena macrophylla* Benth for dendroenergy purposes in Cortes, Honduras (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 16 (38): 47-54. Consultado 28 oct. 2024. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/kuru/v16n38/2215-2504-kuru-16-38-47.pdf>

Fajardo Munguía, E.N., y Castañeda, F. N. (2024). Evaluación de la calidad de plantas de *Pinus oocarpa* Schiede ex schldl en tres viveros del Programa Nacional de Reforestación, Honduras. TATASCÁN, 32(1),49-60. <https://doi.org/10.5377/tatascn.v32i1.19482>

González Alvarado, Ronald Jhovany, Cuadro Cepeda, Melanye Bustamante, Peñafiel Palacios, AL. (2023). Educación ambiental para promover acciones que eviten la tala de árboles y el cuidado del medio ambiente. Universidad Regional Autónoma de los Andes Babahoyo, Ecuador (En línea). Tesis. Universidad Regional Autónoma de los Andes Babahoyo, Ecuador. Consultado el 31 oct. 2024. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?Pid=S1990-86442023000300233&script=sci_arttext&tlng=pt

Grazia, A; Tittonell, C. 2006. The effect of substrates with compost and nitrogenous fertilization on photosynthesis, precocity and pepper (*Capsicum annuum*) yield. A (en línea). Revista. Artículo de investigación. 34(3): 195-204. Consultado el 4 de nov. 2024. Disponible en https://www.scielo.cl/scielo.php?Pid=S0718-16202007000300003&script=sci_arttext

González, Z; López, C; Gutiérrez, C. 2020. Efectos del Biochar sobre el crecimiento y sobrevivencia de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados, Estelí-Nicaragua (en línea). Revista de ciencias forestales. Consultado el 3 de agos. 2025. Disponible en <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/13061/1/20074.pdf>

Google. (sf). [Imagen satelital de Catacamas, Olancho en Google Earth]. Recuperado el 11 de agosto de 2025, de <https://earth.google.com/web/@15.55417206,-87.3981163,68.11057009a,17230.37718405d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0IARAA>

- Hazeén Rodríguez, C. 2016. Sistematización de la información sobre dendroenergía existente en la región del Pacífico y Central de Nicaragua, período 1993-2012 (En línea). Tesis. Ing. Managua, Nicaragua, UNANA. Consultado 16 oct. 2024. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/1180/1/tnp06r696.pdf>
- Hellin, C; Hughes, E. 1993. *Leucaena salvadorensis*: conservation and utilisation in Central América. Siguatepeque, Honduras (en línea). Revista. Consultado el 29 oct. 2024. Disponible en <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19980612967>
- Hotón, A; Aldrete, H; Ordaz, C. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero (en línea). Agrociencia. Versión online ISSN 2521-9766. Versión impresa ISSN 1405-3195. Consultado el 31 oct. 2024. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?Pid=S1405-31952016000400481&script=sci_arttext
- Mora, E; López, Q. 2012. Caracterización del bosque seco tropical remanente en el Valle de Agalta, Honduras. (en línea). Revista 53(1):38-56. Consultado el 29 oct. 2024. Disponible en [file:///C:/Users/dell/Downloads/Normas_IICA_CATIE%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/dell/Downloads/Normas_IICA_CATIE%20(1).pdf)
- Muñoz Jerez. 2007. Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill) (en línea). Tesis. Mexico. Consultado 28 oct. 2024. Disponible en fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill). [monografía].

- Maggio, D; Caniza, J; Cellini, M; Martinez, M. 2022. Dendroenergetic potencial of two clones of *Eucalyptus* sp. In Corrientes, Argentina (En línea). Artículos científicos 28(1): 2812268. Consultado el 3 de nov. 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v28n1/2448-7597-mb-28-01-e2812268.pdf>
- Martínez Aguilar, Álvarez Morales. 2024. Comparación de contenedores y sustratos utilizados para el crecimiento de *Citrumelo swingle* en la etapa de vivero, 2022-2023 (en línea). Tesis Ing. Agro. Managua, Nicaragua, UNADCA. Consultado 17 agos. 2025. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/4749/1/tnf08m385.pdf>
- Navarrete Zaldivar, CA. 2012. Análisis económico y social del uso de la leña como fuente de energía. Estudio de caso de la comunidad indígena de santa Catarina, ensenada (en línea). Tesis en especialidad en gestión ambiental. Baja california, Estados Unidos. Consultado el 3 de nov. 2024. Disponible en <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/e3080598-6412-4aea-9395-8c91dd0553b1/content>
- Oswaldo González, K. 2001. Comparación entre la bolsa y el "cono macetero" o "tubete" en la producción de plantas de café.)” (en línea). Tesis Inge. Agro. El Zamorano, Honduras. Consultado el 31 oct. 2024. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/5b4c8cb5-4ea6-4e41-b491-2b0013b89c6c/content>
- Orozco, G; Muñoz, F; Rueda, S; Sígala, R; Prieto, R; García, M. 2010. Plant quality diagnosis in the forest nurseries of the state of Hidalgo, Honduras (en línea). Artículo científico 52:215-225. Consultado el 16 de agos. 2025. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n2/v1n2a11.pdf>
- Pérez, B; Richers, F; Declerck, F; Casanoves, J; Gobbi, T; Benjamin, E. 2011. Uso y manejo de la cobertura arbórea en sistemas silvopastoriles en la subcuenca del río

- Copán, Honduras (en línea). Revista de agroforestería en las Américas 53:215-225. Consultado el 31 oct. 2024. Disponible en https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6895/Uso_y_manejo.pdf?Sequence=1&isallowed=y
- Pérez, HI. Ochoa, GS. 2019. Capacidad de rebrote de *Leucaena macrophylla* Benth con finos dendroenergético: Cortes, Honduras. Journal de madera y bosques 17(1):71-91.
- Prieto, R; García, R; Mejía, B; Huchín, A; Aguilar, V. 2009. Producción de plantas del género *Pinus* en viveros en climas templado fríos. Investigación forestal, agrícola y pecuaria ISBN 978-607-4225-133-3
- Pineda, P; Sánchez, C; Moreno, P; Esaú, C; Valdez, A; Alonso, C; Castillo, G; Ramírez, A; Vargas, C. 2019. Inmovilización y retención de nutrientes en aserrín de pino como sustrato agrícola ISSN 0187-5779
- Prieto, R; José, Á; Domínguez, C; Pedro, A; Cornejo, O; Eladio, H; Návar, Ch. 2007. Efecto del envase y riego en viveros en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. Madera y Bosque 13(1), 2007:79-97
- Ramos Agüero, TA. 2014. Generalities of the organic manures: Bocashi's importance like nutritional alternative for soil and plants (en línea). Tesis Inge. Ministerio de educación superior. Cuba. Consultado el 31 oct. 2024. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n4/ctr07414.pdf>
- Rioja Coral. 2022. Efectos del sustrato no convencional y tubete en la biometría de plantones de *Dipteryx* sp (shihuahuaco) (en línea). Tesis Inge. Forestal. Pucallpa Perú. Consultado el 31 oct. 2024. Disponible en <https://apirepositorio.unu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ef4d3c5a-c45b-4d40-80cc-557b4ef6e56a/content>

- Rodríguez Cruz. 2013. Sistematización de la información sobre dendroenergía existente en la región del pacífico y central de Nicaragua, período 1993-2012 (en línea). Tesis. Managua, Nicaragua. Consultado 28 de oct. 2024. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/1180/1/tnp06r696.pdf>.
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J.D., Saenz-Reyes, J., Muñoz Flores, H.J., Prieto-Ruiz, J. A., Y Orozco Gutiérrez, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(22), 58-73. Consultado el 3 de agos. 2025. Disponible en <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/475>
- Ramírez, G. 2016. Pregerminative treatments and seed mass as a strategy to improve seedling production of guatemalteca avocado race (en línea). *Revista de ciencias agrarias* ISSN digital: 1819-4087. Consultado el 2 de nov. 2024. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v37n4/ctr11416.pdf>
- Rada, L.I. 2014. Efecto del sustrato y tipo de envase en la calidad de plantas de cedrillo lila (*Cedrela lilloi* C.O.C.) en vivero. *Recursos Naturales Renovables* 15:213-223.
- Sánchez, M; Gutiérrez, C; Sánchez, G; Ortiz, S; Victor, H; Volke, H; Rubiños, P. 2009. Particule size and micromorphological relation on physical properties of perlite and zeolite México (en línea). *Revista agricultura técnica en México*. ISSN 0568-2517. Consultado 28 oct. 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n2/v35n2a2.pdf>
- Salazar, Z. 2015. Influencia de altas densidades de plantación en el poder calorífico y propiedades físicas de la madera para la especie *Gmelina arborea* Roxb. Cartago, Costa Rica (en línea). *Revista forestal mesoamericana kurú*, 2215-2504. Consultado el 31 oct. 2024. Disponible en <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2460/2255>

Suárez Correa. 2014. La dendroenergía en la Amazonía peruana (en línea). Tesis Ing. Forestal. Jaén, Perú. Consultado 28 de oct. 2024. Disponible en <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/424/T%20K10%20S939%202014.pdf?Sequence=1&isallowed=y>

Suazo Gonzales. 2020. Evaluación de ocho sustratos para la producción de plántulas de *Pinus oocarpa* en tubetes, en Escuela Agrícola Panamericana (en línea). Tesis. Ing. Ambiente y desarrollo. Zamorano, Honduras. Consultado el 30 de jul. 2025. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ae356b09-f443-4475-b287-8e0725cef305/content>

Suazo Gonzales. 2024. Evaluación de ocho sustratos para la producción de plántulas de *Pinus oocarpa* en tubetes (en línea). Tesis Ing. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Consultado el 4 de agos. 2025. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ae356b09-f443-4475-b287-8e0725cef305/content>

Sánchez, J; Laura, M; Gamboa, D; Albert, P; Hernández, F. 2015. Germinación y dormancia de arbustos y trepadoras del bosque siempreverde de la Sierra del Rosario, Cuba (en línea). Revista de Pastos y Forrajes, Vol. 38, No. 1. Consultado 24 oct. 2024. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v38n1/pyf02115.pdf>

Suazo González. VA. 2020. Evaluación de ocho sustratos para la producción de plantas de *Pinus oocarpa* en tubetes, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras (en línea). Tesis Ing. Ambiente y desarrollo. Zamorano, Honduras, UCE. Consultado el 11 de agos. 2025. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ae356b09-f443-4475-b287-8e0725cef305/content>

Sánchez, A; Vargas, H; Ordaz, C.2015. Influence of container type and color on seedling growth of pine in nursery. *Agrociencia* 50: 481-492

Susel Aguerre, VA. 2018. Contenedores biodegradables diseñados a partir de residuos urbanos, forestales y agroindustriales para el cultivo de plantas en vivero (en línea). Tesis. Dra. Ciencias agrarias. Posadas, Argentina, Um. Consultado 17 agos. 2025. Disponible en file:///C:/Users/dell/Downloads/AGUERRE%20Yanina%20Susel_2018_Contenedores%20biodegradables%20dise%C3%B1ados....pdf

Tuwei, P; Kangara, J; Mueller, H; Poole, J; Ngugi, F; Stewart, J. 2003. Factores que afectan la producción de biomasa y el valor nutritivo de la hoja de *Calliandra calothyrsus* como forraje para rumiantes (en línea). *La Revista de Ciencias Agrícolas*. 141(1):113-127. Consultado el 29 oct. 2024. Disponible en <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/factors-affecting-biomass-production-and-nutritive-value-of-calliandra-calothyrsus-leaf-as-fodder-for-ruminants/5C95C9D419457E1BF31F3527646347E6>

UNNE (La Universidad Nacional del Nordeste) .2013. UNNE: Germinación de semillas cátedra de fisiología vegetal (en línea, sitio web). Consultado el 12 de nov. 2024. Disponible en <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/guiadeestudiogerminacion.pdf>

UTEQ (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales). 2024. Biocombustibles sólidos derivados de la madera. Principales resultados (en línea). La Plata, Perú. 161-194 p. Consultado 28 Octu. 2024. Disponible en https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/144528/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?Sequence=1&isallowed=y.

Zalazar, M.; Funes, G; Venier, M. 2009. Factores que afectan la germinación de Justicia squarrosa Griseb, forrajera nativa de la región chaqueña de la Argentina. (en línea). Revista. Consultado el 2 de nov. 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v26n1/v26n1a01.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para diámetro de *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*.

Arquivo analisado:

C:\Users\INGENIERIA AGRICOLA\Desktop\

Variable analisada: DIAMETRO_C

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	0.000113	0.000056	0.561	0.5735
TRATAMIENT	35	0.033399	0.000954	9.470	0.0000
erro	70	0.007054	0.000101		
Total corrigido	107	0.040566			
CV (%) =	4.21				
Média geral:	0.2382407	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 2.97931034482759
 Erro padrão: 0.00581569623117827

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
33	0.200000	a1
31	0.203333	a1
2	0.213333	a1
34	0.220000	a2
25	0.220000	a2
1	0.220000	a2
32	0.223333	a2
29	0.223333	a2
36	0.225000	a2
13	0.226667	a2
3	0.226667	a2
30	0.230000	a2
26	0.230000	a2
23	0.230000	a2
22	0.233333	a2
27	0.236667	a2
11	0.236667	a2
5	0.236667	a2
28	0.236667	a2
7	0.240000	a3
35	0.240000	a3
6	0.243333	a3
10	0.243333	a3
19	0.246667	a3
9	0.250000	a3
14	0.250000	a3
20	0.250000	a3
24	0.253333	a3
4	0.253333	a3
17	0.256667	a3
15	0.256667	a3
21	0.256667	a3
18	0.256667	a3
16	0.266667	a4
12	0.270000	a4
8	0.276667	a4

Anexo 2. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para altura de *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*.

Variável analisada: ALTURA_CM

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	0.352891	0.176445	0.117	0.8894
TRATAMIENT	35	243.906869	6.968768	4.639	0.0000
erro	70	105.161184	1.502303		
Total corrigido	107	349.420944			
CV (%) =	8.92				
Média geral:	13.7387963	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 2.97931034482759
 Erro padrão: 0.710102173268915

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
10	11.233333	a1
9	11.300000	a1
1	11.456667	a1
5	11.603333	a1
4	11.606667	a1
3	12.050000	a1
2	12.313333	a1
30	12.370000	a1
17	12.760000	a2
16	12.846667	a2
8	12.866667	a2
36	13.087500	a2
21	13.210000	a2
6	13.316667	a2
24	13.416667	a2
33	13.433333	a2
13	13.490000	a2
34	13.666667	a2
22	13.740000	a2
18	13.753333	a2
11	13.826667	a2
35	14.060000	a3
7	14.076667	a3
23	14.200000	a3
29	14.510000	a3
20	14.543333	a3
27	14.590000	a3
14	14.670000	a3
12	14.750000	a3
15	15.213333	a3
19	15.226667	a3
32	15.666667	a4
31	16.076667	a4
25	16.310000	a4
26	16.326667	a4
28	17.353333	a4

Anexo 3. Prova estatística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para No. De hojas de *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*.

Variável analisada: NO__DE_HOJ

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETICION	2	0.213089	0.106544	0.048	0.9532
TRATAMIENT	35	1476.071083	42.173460	18.980	0.0000
erro	70	155.543528	2.222050		
Total corrigido	107	1631.827700			
CV (%) =	9.34				
Média geral:	15.9516667	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Media harmónica do número de repetições (r): 2.97931034482759
 Erro padrão: 0.86361281879457

Tratamientos	Medias	Resultados do teste
31	11.666667	a1
29	11.666667	a1
34	12.000000	a1
6	12.010000	a1
30	12.036667	a1
32	12.103333	a1
36	12.425000	a1
5	12.583333	a1
35	12.695000	a1
7	13.126667	a1
4	13.570000	a1
25	13.750000	a1
8	14.250000	a2
26	14.433333	a2
33	14.500000	a2
9	14.563333	a2
1	14.583333	a2
2	14.793333	a2
3	14.960000	a2
27	15.126667	a2
10	15.370000	a2
28	15.460000	a2
18	15.476667	a2
19	16.293333	a2
11	16.423333	a2
20	16.500000	a2
12	17.210000	a2
17	18.126667	a3
13	18.983333	a3
22	20.500000	a3
16	22.000000	a4
24	22.250000	a4
23	22.666667	a4
21	23.083333	a4
14	23.333333	a4
15	23.830000	a4

Anexo 4. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para área foliar de *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*.

Variável analisada: AREA_FOLEA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	151.462963	75.731481	0.037	0.9634
TRATAMIENT	35	4388325.490741	125380.728307	61.771	0.0000
erro	70	142084.037037	2029.771958		
Total corrigido	107	4530560.990741			
CV (%) =	7.19				
Média geral:	627.0092593	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 2.97931034482759

Erro padrão: 26.1015171734448

Tratamientos	Medias	Resultados do teste
35	194.500000	a1
36	229.500000	a1
34	230.000000	a1
33	245.666667	a1
32	376.000000	a2
28	413.333333	a2
25	443.333333	a3
1	469.000000	a3
29	473.000000	a3
27	482.333333	a3
26	508.000000	a4
30	514.666667	a4
23	547.333333	a4
24	566.666667	a4
31	588.000000	a4
2	617.333333	a5
5	654.000000	a5
12	690.000000	a6
22	692.333333	a6
8	721.333333	a6
9	740.333333	a6
20	749.333333	a6
14	764.333333	a7
10	768.666667	a7
15	771.000000	a7
11	773.000000	a7
19	777.000000	a7
21	802.000000	a7
6	803.333333	a7
13	804.666667	a7
17	810.000000	a7
16	833.333333	a7
18	834.333333	a7
4	857.000000	a8
7	879.000000	a8
3	937.000000	a8

Anexo 5. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para índice de *lignificación de Leucaena salvadorensis, Calliandra calothyrsus y Mimosa tenuiflora.*

Variable analizada: LIGNIFICAC

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	4.206702	2.103351	1.258	0.2905
TRATAMIENT	35	1144.927588	32.712217	19.568	0.0000
erro	70	117.017431	1.671678		
Total corrigido	107	1266.151721			
CV (%) =	4.09				
Média geral:	31.5823148	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 2.97931034482759
 Erro padrão: 0.749063073615605

Tratamientos	Medias	Resultados do teste
4	26.553333	a1
15	27.203333	a1
14	27.310000	a1
3	27.363333	a1
13	27.576667	a1
10	28.036667	a1
1	28.096667	a1
2	28.113333	a1
9	28.603333	a2
18	28.736667	a2
11	29.090000	a2
12	29.190000	a2
16	29.243333	a2
19	29.366667	a2
20	29.906667	a2
17	30.543333	a2
23	30.773333	a2
22	31.590000	a3
8	31.813333	a3
6	31.956667	a3
24	32.106667	a3
21	32.143333	a3
5	32.420000	a3
7	33.556667	a3
34	33.646667	a3
27	33.773333	a3
25	34.400000	a4
33	34.563333	a4
35	35.030000	a4
26	35.096667	a4
28	35.820000	a4
31	35.840000	a4
29	35.973333	a4
30	36.163333	a4
32	36.933333	a4
36	37.580000	a4

Anexo 6. Prueba estadística ANOVA, a través de la prueba de media de Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para *biomasa de raíz de Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*.

Variável analisada: BIOMASA_DE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	2.033985	1.016993	0.348	0.7073
TRATAMIENT	35	2273.990952	64.971170	22.237	0.0000
erro	70	204.524681	2.921781		
Total corrigido	107	2480.549619			
CV (%) =	2.42				
Média geral:	70.5012963	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 2.97931034482759
 Erro padrão: 0.990298155606605

Tratamientos	Medias	Resultados do teste
29	61.403333	a1
27	62.330000	a1
36	62.740000	a1
32	63.003333	a1
26	63.093333	a1
33	63.700000	a1
28	63.950000	a1
31	65.396667	a2
30	67.283333	a2
25	67.626667	a2
35	68.330000	a2
24	69.363333	a3
14	69.486667	a3
34	71.070000	a3
13	71.690000	a3
7	71.886667	a3
11	71.906667	a3
15	72.083333	a3
20	72.103333	a3
2	72.540000	a3
3	72.686667	a3
10	72.706667	a3
12	72.846667	a3
9	72.863333	a3
6	72.906667	a3
21	73.010000	a3
4	73.456667	a3
16	73.876667	a4
1	74.283333	a4
23	74.816667	a4
19	75.366667	a4
5	75.430000	a4
18	75.506667	a4
17	76.363333	a4
8	76.390000	a4
22	76.413333	a4

Anexo 7. Prova estatística ANOVA mediante el Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para el índice de dickson de *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*.

Variável analisada: INDICE_DE DICKSON

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	0.000002	9.25925926E-0007	0.070	0.9328
TRATAMIENT	35	0.014210	0.000406	30.511	0.0000
erro	70	0.000931	0.000013		
Total corrigido	107	0.015144			
CV (%) =	9.40				
Média geral:	0.0387963	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 2.97931034482759

Erro padrão: 0.00211339278444317

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
35	0.020000	a1
34	0.020000	a1
33	0.020000	a1
36	0.020000	a1
22	0.030000	a2
10	0.030000	a2
26	0.030000	a2
27	0.030000	a2
21	0.030000	a2
25	0.030000	a2
23	0.033333	a3
28	0.033333	a3
32	0.033333	a3
11	0.033333	a3
9	0.036667	a3
24	0.036667	a3
20	0.040000	a4
29	0.040000	a4
12	0.040000	a4
13	0.040000	a4
31	0.040000	a4
1	0.040000	a4
2	0.040000	a4
14	0.040000	a4
17	0.040000	a4
16	0.040000	a4
15	0.040000	a4
19	0.043333	a4
30	0.046667	a5
18	0.046667	a5
3	0.050000	a5
8	0.056667	a6
6	0.060000	a6
7	0.060000	a6
4	0.060000	a6
5	0.066667	a7

Anexo 8. Prueba estadística ANOVA mediante el Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para la biomasa aérea y biomasa de raíz de *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*

Variável analisada: BIOMASA_AE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETICION	2	1.265506	0.632753	1.118	0.3326
TRATAMIENT	35	138.342283	3.952637	6.986	0.0000
erro	70	39.603636	0.565766		
Total corrigido	107	179.211425			
CV (%) =	27.39				
Média geral:	2.7458333	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 2.97931034482759
 Erro padrão: 0.435773321163121

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
34	1.123333	a1
35	1.240000	a1
8	1.520000	a1
36	1.527500	a1
2	1.640000	a1
1	1.640000	a1
33	1.680000	a1
6	1.736667	a1
27	1.930000	a1
25	2.016667	a1
29	2.056667	a1
26	2.140000	a1
30	2.140000	a1
17	2.170000	a1
31	2.230000	a1
18	2.256667	a1
32	2.290000	a1
28	2.290000	a1
16	2.316667	a1
9	2.326667	a1
21	2.366667	a1
7	2.640000	a1
5	2.710000	a1
20	2.840000	a1
3	2.980000	a1
22	3.130000	a1
13	3.583333	a2
4	3.856667	a2
24	3.950000	a2
10	4.013333	a2
23	4.436667	a2
14	4.460000	a2
19	4.523333	a2
15	4.593333	a2
12	4.983333	a2
11	5.416667	a2

Anexo 9. Prueba estadística ANOVA mediante el Teste Scott-Knott por la prueba F al 5% para el índice de esbeltez de *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*

Variável analisada: INDICE_DE2

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	0.197780	0.098890	0.358	0.7006
TRATAMIENT	35	76.130141	2.175147	7.868	0.0000
erro	70	19.353054	0.276472		
Total corrigido	107	95.680974			
CV (%) =	8.99				
Média geral:	5.8475926	Número de observações:	108		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 2.97931034482759
 Erro padrão: 0.304626624778123

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
9	4.520000	a1
10	4.613333	a1
4	4.620000	a1
16	4.836667	a1
8	4.930000	a1
5	4.930000	a1
17	4.980000	a1
21	5.153333	a1
1	5.223333	a1
24	5.300000	a1
3	5.320000	a1
18	5.360000	a1
6	5.486667	a2
12	5.490000	a2
30	5.776667	a2
2	5.776667	a2
36	5.815000	a2
20	5.816667	a2
14	5.873333	a2
35	5.880000	a2
11	5.883333	a2
15	5.903333	a2
22	5.906667	a2
7	5.923333	a2
13	5.953333	a2
19	6.176667	a2
27	6.193333	a2
34	6.200000	a2
23	6.413333	a3
29	6.496667	a3
33	6.690000	a3
26	7.150000	a4
32	7.283333	a4
28	7.380000	a4
25	7.503333	a4
31	7.953333	a4

Anexo 10. Preparación de areneros para la germinación de las especies *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*



Anexo 11. Proceso de siembra de las semillas de las especies *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*



Anexo 12. Germinación de las semillas de las especies *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*









Anexo 13. Elaboración de sustratos (biochar, aserrín, turba y suelo)









Anexo 14. Instalación de infraestructura, llenado de envases y elaboración de tratamientos







Anexo 15. Establecimiento del experimento completamente al asar





Anexo 16. Cuantificación del desarrollo de las especies *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*







Anexo 17. Evaluación de la calidad de las especies *Leucaena salvadorensis*, *Calliandra calothyrsus* y *Mimosa tenuiflora*





