

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Evaluación de sustratos para la producción de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el vivero Aromas del Ariari, San Martín – Meta.

Laura Milena Briceño Trujillo

1006904181

Programa Ingeniera Agronómica

2025

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Evaluación de sustratos para la producción de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el vivero Aromas del Ariari, San Martín – Meta.

Laura Milena Briceño Trujillo

1006904181

Trabajo de grado bajo modalidad practica empresarial presentado como requisito para obtener al título de Ingeniero Agrónomo

Tutor académico

Rafael Gómez Arrieta

MSc. PhD. Fitotecnia

Tutor Empresa

Juan David Garzón Pachón

Agrónomo

Programa Ingeniera Agronómica

2025

Agradecimientos

En primer lugar, gracias a Dios, porque sin el nada sería posible, gracias por darme la fortaleza, claridad y guía en cada momento, por abrir mi mente cuando sentía que no podía más. A mi padre Edilson Briceño y madre Andrea Trujillo con profundo amor y gratitud, por ser apoyo incondicional en cada etapa de este camino. A mi pareja Publio Moreno, por su comprensión, paciencia y compañía constante.

Agradezco a mis dos tutores el Ing Rafael Gómez y coordinador Juan David Garzón por orientarme en este proceso académico y profesional. Extiendo el agradecimiento a la cooperativa WORKAKAO por brindarme la oportunidad de desarrollar mis prácticas profesionales en el Vivero Aromas del Ariari gracias por abrirme sus puertas y permitirme crecer como profesional y persona.

Tabla de contenido

1. Problema	13
1.1 Planteamiento y descripción de problema	13
1.2 Justificación	14
2. Objetivos.....	15
2.1 Objetivo general.....	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. Marco Teórico	16
3.1 Historia y origen del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	16
3.2 Botánica del cacao	16
3.2.1 Taxonomía.....	16
3.2.2 Morfología del árbol de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	17
3.3 Tipos de cacao.....	18
3.4 Reproducción del cacao	18
3.4.1 Propagación sexual:	19
3.4.2 Propagación asexual:	19
3.5 Vivero.....	19
3.5.1 Tipos de viveros	20
3.5.2 Manejo en vivero	20
3.5.3 Sustrato	23
3.5.4 Tipos de sustratos	23
3.6 Antecedentes.....	26
3.6.1 Antecedentes internacionales	26

3.6.2 Antecedentes nacionales.....	27
3.7 Marco Contextual.....	29
3.7.1 Zona estudio	29
3.7.2 Actividades socioeconómicas.....	30
3.7.3 Descripción de la empresa	30
3.8 Bases Conceptuales.....	31
3.8.1 Compostaje	31
3.8.2 Suelo	32
3.8.3 Arena de río	32
3.8.4 Cascarilla de arroz	32
3.8.5 Fibra de coco	32
3.8.6 Pseudotallo de plátano.....	33
3.8.7 Cascara de cacao.....	33
3.8.8 Semilla	33
3.8.9 Germinación	34
3.9 Marco Legal	36
3.9.1 Capítulo VI. Trabajo de grado.....	36
3.9.2 Resolución No. 0780006 (25/11/2020)	37
3.9.3 Resolución No. 003434 (28 NOV 2005).....	38
4. Metodología.....	39
4.1 Área de estudio.....	39
4.2 Diseño	40
4.2.1 Preparación de tratamientos	40
4.2.2 Llenado de bolsas.	42
4.2.3 Ubicación de bolsas	42

4.2.4 Selección de semilla	43
4.2.5 Siembra	44
4.2.6 Riego.....	44
4.2.7 Fertilización	44
4.2.8 Control de arvenses	45
4.3 Variables evaluadas.....	45
4.3.1 Porcentaje de germinación	45
4.3.2 Diámetro de tallo (mm)	46
4.3.3 Altura de plántula (cm).....	46
4.3.4 Longitud de raíz (cm)	46
4.3.5 Numero de hojas.....	47
4.3.6 Identificación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales	47
5. Resultados y Discusiones	48
5.1 Porcentaje de germinación	48
5.2 Altura de planta a los 20, 40 y 60 días después de siembra.....	49
5.3 Diámetro de tallo a los 20, 40 y 60 días después de siembra.	50
5.4 Numero de hojas	52
5.5 Longitud de raíz	54
5.6 Identificación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales.	56
6. Conclusiones.....	58
7. Recomendaciones	59
8. Referencias Bibliográficas.....	60
9. Anexos.....	68

Lista de Tabla

Tabla 1. Taxonomía cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	16
Tabla 2. Principales tipos de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).	18
Tabla 3. Sustratos comunes en viveros de origen activo e inerte.....	24
Tabla 4. Composición de cada tratamiento.	42
Tabla 5. Deficiencias nutricionales en T2 (Compost)	56

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa político administrativo-Subregión Ariari, 2016.	29
Figura 2. Instalaciones Vivero Aromas del Ariari.	39
Figura 3. Comparación del porcentaje de germinación en T1 (Suelo cernido + cascarilla de arroz + Arena de río.) y T2 (Compost a base de cascara de cacao)	47
Figura 4. Comparativas del promedio de altura a los 20, 40 y 60 días después de siembra....	48
Figura 5. Comparativas del promedio de diámetro de tallo a los 20, 40 y 60 días después de siembra.....	49
Figura 6. Comparativas número de hojas a los 20, 40 y 60 días después de siembra.	51
Figura 7. Grafica comparativa longitud de raíz a los 20, 40 y 60 días después de siembra.....	53
Figura 8. Afectación en plántula de cacao, parte foliar y sistema radicular por <i>Phytophthora</i> spp	54

Lista de Anexos

Anexo 1. Datos porcentaje de germinación.....	68
Anexo 2. Formato recolección de datos para variables morfológicas	68
Anexo 3. Datos longitud de raíz	69
Anexo 4. Datos de longitud de raíz a los 20,40 y 60 dds.	69
Anexo 5. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes.....	70
Anexo 6. (a) Pérdida de plantas de T2 por <i>Phytophthora</i> spp, (b) Encharcamiento por exceso de lluvias.	71
Anexo 7. Desarrollo morfológico T1 al inicio y final (a) plantas a los 20 dds y (b) plantas de cacao 60 dds.....	71
Anexo 8. Semillas sin emergencia, afectadas por hongos.....	71
Anexo 9. Toma de longitud de raíz a los 20 dds	72
Anexo 10. Altura de plantas T1 (20 dds)	72
Anexo 11. Diámetro de tallo	73
Anexo 12. Llenado de bolsas	73
Anexo 13. Proceso ubicación de eras	74
Anexo 14. Proceso de siembra	74

RESUMEN

El presente trabajo se desarrollo en un periodo de 2 meses en las instalaciones del Vivero Aromas del Ariari, localizado a 3°43'05"N-73°42'00"W, situado a un (1) Kilometro del casco urbano del municipio San Martin, teniendo como objetivo: Evaluar el efecto de dos tipos de sustratos en el desarrollo vegetativo de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante la fase de vivero. Para ello, se diseñó un estudio completamente al azar (DCA), con dos tratamientos: T1, correspondiente a un sustrato tradicional implementado por el vivero (Suelo + Cascarilla + Arena), y T2, compuesto de (compost elaborado con residuos de cultivo de cacao). Cada tratamiento conto con 75 plantas y 20 repeticiones. Asimismo, se evaluaron variables como altura del tallo, diámetro del tallo, número de hojas y longitud de raíz, cada 20, 40 y 60 días después de siembra, abarcando las posibles deficiencias nutricionales provocadas por los dos tratamientos. Se determino que T1 presenta adecuadas condiciones físicas del sustrato y de desarrollo vegetativo en las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.), debido que, presento una altura, diámetro de tallo y numero de hojas, que alcanzaron un promedio de 25 cm de altura, 0,51 cm de diámetro y un total de 11 hojas, en comparación del T2 (Compost), que se vio afectado por problemas fitosanitarios y nutricionales a partir de los 40 dds. El sistema radicular se desarrolló mejor en el T1, alcanzando un promedio de 16 cm de longitud en su raíz principal, libre de enfermedades. Se concluye que el tratamiento T1, es favorable para la producción de plantas de cacao, destinadas a patronaje en el vivero Aromas del Ariari.

Palabras clave: Tratamiento, planta, vivero, compost, desarrollo morfológico.

SUMMARY

The present work was developed in a period of 2 months in the facilities of the Aromas del Ariari nursery, located at 3°43'05 "N-73°42'00" W, one (1) kilometer from the urban center of the municipality of San Martin, with the objective of evaluating the effect of two types of substrates on the vegetative development of cocoa plants (*Theobroma cacao* L.) during the nursery stage. For this purpose, a completely randomized study (CRS) was designed, with two treatments: T1, corresponding to a traditional substrate implemented by the nursery (Soil + Husk + Sand), and T2, composed of (compost made from cocoa crop residues). Each treatment had 75 plants and 20 replications. Variables such as stem height, stem diameter, number of leaves and root length were also evaluated every 20, 40 and 60 days after planting, including possible nutritional deficiencies caused by the two treatments. It was determined that T1 presented adequate physical conditions of the substrate and vegetative development in cocoa plants (*Theobroma cacao* L.), because it presented a height, stem diameter and number of leaves, which reached an average of 25 cm in height, 0.51 cm in diameter and a total of 11 leaves, compared to T2 (Compost), which was affected by phytosanitary and nutritional problems from 40 days after planting. The root system developed better in T1, reaching an average length of 16 cm in its main root, free of diseases. It is concluded that the T1 treatment is favorable for the production of cocoa plants, destined for the Aromas del Ariari nursery.

Key words: Treatment, plant, nursery, compost, morphological development.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) se consideraba como un “Alimento de dioses”, es un cultivo perenne originario de las regiones tropicales de América del sur, pertenece a la familia Malvaceae. Su registro data de civilizaciones Mayas y Aztecas quienes lo empleaban como alimento y significado de riqueza. Para el siglo XVI los colonizadores europeos lo llevaron a Europa donde rápidamente ganó popularidad (FEDECACAO, 2021). En la actualidad, el cacao representa un pilar económico fundamental para más de 65 mil familias colombianas; en los últimos años, la producción nacional de cacao a destacado por su calidad, originando aproximadamente 53 mil toneladas anuales, para el 2021 alcanzo alrededor de 69 mil toneladas. Los principales departamentos productores en nuestro país son: Santander con 27 mil toneladas (42%), seguido de Antioquia con 5,6 mil toneladas (8,8%) y Arauca con 4,8 mil toneladas (7,6%) según lo reportado por FINAGRO (2021).

La etapa de vivero es un proceso clave en el desarrollo de plantas, dado que, durante este período se fortalece el sistema radicular, garantizando un crecimiento adecuado, antes de su trasplante a sitio definitivo en campo. En vivero las plantas permanecen aproximadamente seis meses, tiempo en el cual se debe proporcionar las condiciones óptimas para su establecimiento. Un factor clave es el sustrato seleccionado, debido a que es el medio de crecimiento de las plantas donde se desarrolla el sistema radicular, esencial para la absorción de agua, nutrientes y anclaje. Dependiendo del sustrato seleccionado, se puede ver afectada la disponibilidad de agua, oxígeno y nutrientes para las raíces, los cuales son factores fundamentales para el desarrollo de la planta. Un sustrato adecuado debe ser liviano, poroso y bien drenado, que permita, un equilibrio entre retención de humedad y aireación (HCP, 2024). En el presente trabajo se evaluó el desarrollo vegetativo de las plantas de cacao, con la implementación de dos tipos de sustratos en el vivero Aromas del Ariari, desde la germinación hasta la obtención de plantas adecuadas para selección de patronaje (aproximadamente de dos meses después de la siembra).

1. Problema

1.1 Planteamiento y descripción de problema

Los viveros buscan producir plantas de alta calidad, sanas y vigorosas, que aseguren un adecuado desarrollo en el campo y optimicen rendimientos. Para lograrlo, un paso fundamental es la adecuada selección del sustrato, como punto esencial durante la etapa de crecimiento de las plantas, que favorece directamente en la germinación y el desarrollo radicular (FEDECACAO, 2021).

Sin embargo, el no uso de un sustrato adecuado en la etapa de vivero, puede generar con el tiempo problemas de compactación, deficiencias nutricionales, baja retención de humedad y problemas fitosanitarios, lo que impacta negativamente en la calidad de las plantas (Aldrete et al.,2023). Por consiguiente, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de dos tipos de sustratos en el crecimiento y desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante la fase de vivero.

1.2 Justificación

El cacao se ha consolidado en los últimos años como uno de los cultivos más rentables del país, especialmente el cacao fino de aroma. Según la ICCO, el 95% del cacao colombiano cumple con esta característica. En este contexto, la Compañía Nacional de Chocolates, la Federación Nacional de cacao (Fedecacao) y actores involucrados que promueve la propagación y distribución de material vegetal de cacao de alta calidad y productividad, con el objetivo de fortalecer las comunidades productoras de cacao.

La fase de vivero constituye un componente crítico en la obtención de plántulas de *Theobroma cacao* L, con alto potencial de establecimiento y productividad en campo. De acuerdo con Agrosavia (2021), la calidad de los insumos utilizados en la propagación vegetal, particularmente la semilla seleccionada y el sustrato, desempeña un papel determinante en el desempeño fisiológico de las plantas durante la etapa inicial. En este sentido, el sustrato debe cumplir con criterios físicos y funcionales que favorezcan el desarrollo del sistema radicular, tales como una adecuada aireación, estabilidad estructural, distribución óptima del tamaño de partícula, buen drenaje y capacidad de retención de humedad (SENA, 2024).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar dos tipos de sustratos para la producción de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante la fase de vivero.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar el crecimiento vegetativo de las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en fase de vivero, bajo la implementación de dos tipos de sustratos.
- Determinar el tipo de sustrato apropiado, que promueva el desarrollo radicular de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.).

3. Marco Teórico

3.1 Historia y origen del cacao (*Theobroma cacao* L.)

El alimento de los dioses, actualmente denominado árbol de cacao, originario de las zonas tropicales y húmedas del continente americano, antiguamente era implementado por las culturas Mayas y Aztecas para realizar rituales religiosos, también como alimento o significado de riqueza. Paso de ser ingerido directamente de la semilla a ser convertido en una bebida caliente hervida nombrada “cacahuatt y chocolati”. En Colombia se cultiva cacao desde la etapa colonial, debido a que, el país cumple con las condiciones tropicales y agroecológicas adecuadas, para el desarrollo del cultivo. Generando impacto positivo a nivel comercial de la exportación de grano de cacao en la época de los 80, brindando crecimiento económico a las familias productoras de cacao (FEDECACAO, 2021).

3.2 Botánica del cacao

3.2.1 Taxonomía

Tabla 1.

Taxonomía cacao (Theobroma cacao L.)

Taxon	Descripción
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Subfamilia	Byttnerioideae
Tribu	Theobromeae
Genero	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>T. cacao</i>

Nota: Descripción botánica Carlos Linneo. Tomado de *Sistema Global de Información sobre Biodiversidad*, 2025.

3.2.2 Morfología del árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.)

El árbol de cacao puede llegar a una altura aproximada de 4 – 8 metros dependiendo de las condiciones ambientales y manejo del cultivo, en las plantaciones comerciales prefieren arboles con alturas aproximadamente de 2,5 a 4 metros que facilitan el manejo agronómico. Por otra parte, la raíz que desarrolla el cacao se describe como pivotante y tiene presencia de raíces secundarias, las primeras ayudan al anclaje de la planta y las secundarias se encargan de absorber nutrientes y agua. Las ramas y tronco del árbol de cacao se distinguen por ser dimórficas debido a que cuentan con un crecimiento ortotrópico (vertical) y plagiotrópico (horizontal); el tronco crece de manera recta alcanzando una altura de 0,80 y 1,50 m y a partir de este tronco se desprenden 3 o 5 ramas conocidas por su formación en mesa.

Las hojas se caracterizan por su textura coriácea (dura y flexible) su tamaño varío mucho según la variedad a implementar estas pueden ser ovaladas o redondas, así mismo sus colores cambian presentándose rojo brillante, verde ligero y rojo intermedio, los ápices de las hojas son agudos, cortos o largos y las hojas adultas tienden a ser de color verde de forma lanceolada, presentando nervadura pinnada. La parte floral se conoce con un crecimiento caulifloro, esto indica que desarrolla flores en el tallo y ramas laterales, estas se pueden encontrar agrupadas en cojines florales y su flor se considera hermafrodita posee ambos sexos (masculino-femenino) (FEDECACAO, 2021).

El fruto de cacao se conoce como mazorca y es clasificado como una baya la cual está protegida por el pericarpio (Exocarpio, mesocarpio y endospermo), dentro de esta mazorca se encuentran las semillas, los cuales están adheridas en un eje central “placenta”. A la vez el grano está rodeado por un mucilago azucarado y se puede llegar a encontrar entre 20-60 semillas, todo

dependiendo del material genético. Las semillas de cacao pueden ser ovaladas, aplanadas y redondas, de color rosado, blanco, violeta purpura o pálidas todo depende del material (FEDECACAO, 2021).

3.3 Tipos de cacao

La siguiente tabla describe los tipos de cacao existentes en el mundo, detallando sus características que los resaltan y lugar de origen.

Tabla 2.

Principales tipos de cacao (Theobroma cacao L.).

Cacao Criollo	Cacao Forestal	Cacao Trinitario o Híbrido
Proveniente de Centroamérica, Colombia y Venezuela, destaca por su sabor dulce, exquisito aroma y alta calidad. Cascara delicada y textura corroñosa su forma termina en punta; semillas de color blanco o Vinotinto (CNCH, 2021).	Originario de América del Sur se caracteriza por tener una mazorca de cascara gruesa de textura lisa poca rugosa, con surcos poco profundos; presenta un sabor ácido de baja calidad por el sabor del mucilago; sus granos son pequeños y de color violeta oscuro (FEDECACAO, 2021).	Proviene de un cruzamiento entre cacao criollo y forastero, que se originó en la isla antillana de Trinidad. Presentando características intermedias, son conocidos como clones universales, los más acreditados según FEDECACAO (2021) son ICS I, ICS 39, ICS 40, ICS 60, ICS 95 y TSH 565.

3.4 Reproducción del cacao

Según la FEDECACAO (2021), los medios de propagación implementados para la reproducción de cacao son la propagación sexual y asexual.

3.4.1 Propagación sexual:

Se realiza mediante la germinación de semillas obtenidas directamente de la mazorca del cacao, con el objetivo de general plantas, implementadas para la producción de patrones o portainjertos.

3.4.2 Propagación asexual:

Se basa en el uso de un fragmento de la planta (varetas porta yemas); este tipo de propagación se puede realizar por medio de:

3.4.2.1 Injertación:

Es el medio donde se multiplica la planta por la acción de un solo individuo, sin necesidad de realizar un cruce entre árboles (madre y padre) como resultado de la injertación se obtiene una planta clonada. Existen varios tipos y los que se mas se implementan en un vivero son los de púa terminal, lateral o tipo parche.

3.5 Vivero

Según la Compañía Nacional de Chocolates (2021) un vivero es el espacio también llamado semillero o almácigos, en donde las plántulas nacen y se desarrollan durante sus primeras etapas, en este entorno, se controlan y optimizan factores como suelo, humedad y nutrición garantizando de esta manera un óptimo crecimiento antes del traslado a campo.

3.5.1 Tipos de viveros

Según la intención, destino y tiempo existen tres (3) tipos de viveros afirma HCP (2024) en su guía técnica:

- **Corto plazo:** Capacidad de 500 a 5000 plantas, su estructura es a base de materiales locales que son fáciles de desmontar, su ciclo de vida es de seis meses (HCP, 2024).
- **Mediano plazo:** Capacidad de alojar 5.000 a 20.000 plantas/año, su infraestructura es más duradera, con un ciclo de vida demora entre 2 a 5 años, es importante saber que se puede albergar atrás plantas que no sean cacao (HCP, 2024).
- **Largo plazo:** Estructura para mantenimiento de 50.000 plantas/año, la cual presenta una inversión más grande en base a equipos y costos mantenimiento, está diseñado con tubos metálicos, concreto, madera y presenta sistema tecnificado para su manejo (HCP, 2024).

3.5.2 Manejo en vivero

Las prácticas de manejo en vivero se emplean desde la producción de semillas o material de propagación hasta el trasplante del material injertado a campo, Monsalve et al., (2021) establece la importancia de la procedencia del sustrato, insumos y material vegetal, los cuales deben cumplir con condiciones óptimas de calidad fitosanitaria; ya que estos reducirán problemas sanitarios, fisicoquímicos y nutricionales de la plántula que se lleva a establecimiento.

Prácticas para tener un establecimiento de vivero:

- Diseño de la infraestructura.

- Diseño de riego.
- Tipo de sombrío.
- Selección de material vegetal (Semillas, patrón y porta yemas).
- Preparación y mezcla de sustrato.
- Embolsado.
- Agroquímicos
- Preparación y siembra de semillas.
- Plan de fertilización.
- Injertación.
- Etiquetado de las variedades o clones.
- Monitoreo y control fitosanitario (MIP).
- Mantenimiento de las plántulas en vivero (HCP, 2024).

Según la Compañía Nacional de Chocolates (2021), la selección de materiales para la propagación del cacao varía según las condiciones agroclimáticas y topográficas de cada región, garantizando su adaptación y productividad. Para la producción de patrones, se emplean materiales como IMC-67, P-7, PA-4 y Caucasia 37, 39 y 43. A su vez, la selección de materiales para injertar requiere compatibilidad con los patrones y un alto potencial productivo. Entre las variedades recomendadas se encuentran CNCH (Compañía Nacional de Chocolates) -12, CNCH-13, ICS (Imperial Collage Selection) -1, FSV (Fedecacao San Vicente) -41, TCS (*Theobroma* Corpoica La Suiza) -19, TCS-01, FTA (Fedecacao Tame)-2, FEAR (Federación Arauquita)-5, etc.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), mediante el Acuerdo No. 003 del 3 de julio de 2002, define el material genético para ser utilizado como clon en las diferentes regiones agroecológicas de Colombia y los clones a utilizar como semillas para patrones en la injertación de Cacao.

A continuación, se mencionarán los clones recomendados para la zona agroecológica y material genético utilizado para semilla de patrones:

Montaña santandereana: TSH-565, ICS-1, ICS-39, ICS-40, ICS-60, ICS-95, IMC-67, EET-8, CCN-51, CAP-34, UF-613, FLE-3 y SCC-61.

Valles Interandina Seco (Huila, Sur Del Tolima, Norte Del Magdalena): TSH-565, ICS-1, ICS-39, ICS-60, ICS-95, IMC-67, TSA-644, EET-96, EET-400 y CCN-51.

Bosque Húmedo Tropical (Urabá, Tumaco, Catatumbo, Arauca, Meta, Magdalena Medio): TSH-565, ICS-1, ICS-60, ICS-95, IMC-67, MON-1, CCN-51, FSA-11, FSA-12, FEAR-5, FTA-1 y FTA-2.

Zona Cafetera Marginal Baja (Gran Caldas, Suroeste De Antioquia, Norte Del Tolima): TSH-565, ICS-1, ICS-39, ICS-40, ICS-60, ICS-95, IMC-67, EET-8, CCN-51, CAP-34, UF-613, FLE-3 y SSC-61.

Material genético para patronaje:

Clones: P-7, IMC-67, PA-46, PA-150, PA-121.

Clones de origen Amazónico: Mazorca verde como EET-400, EET-96, CUACASIA.

Semillas de plantaciones híbridas establecidas, con buen manejo sanitario y agronómico, provenientes de árbol del clon IMC-67 (ICA,2006).

3.5.3 Sustrato

Según la definición otorgada por HCP (2024) el sustrato es la base que proporciona las condiciones adecuadas para el desarrollo y anclaje radicular de las plántulas, este debe presentar características como:

- Mullido y permeable: Sin encharcamiento.
- Retener agua.
- Estructura estable.
- Capaz de acumular nutrientes.
- Libre de patógenos y semillas de malezas.
- pH estable: Para cacao entre 5.5 – 6.5 (CNCH, 2021).

La Compañía Nacional de chocolate recomienda que los sustratos deben ser livianos y la materia orgánica implementada debe estar bien descompuesta y descontaminada de residuos, para que se permita un crecimiento adecuado del sistema radicular. De esta manera, se debe realizar un análisis nutricional del sustrato, que permitirá corregir la nutrición (CNCH, 2021).

3.5.4 Tipos de sustratos

3.5.4.1 Sustratos orgánicos

Solos o mezclados mejoran las condiciones de crecimiento de las plantas, en la elaboración de estos sustratos no se implementan materiales químicos, solo materiales orgánicos derivados de procesos de transformación como biodigestores, compost o producción de ácidos húmicos, algunos materiales como son turbas, cascarilla de arroz, aserrín etc.,(Vizcaino, 2017).

3.5.4.2 Sustratos inorgánicos

Son de origen natural que no presentan un previo uso, como son la arena, grava y tierras de origen volcánico, a su vez se incluyen lana de rica, vermiculita y perlita estos materiales antes de su implementación pueden ser sometidos a tratamientos de calor (SENA, 2024).

Tabla 3.

Sustratos comunes en viveros de origen activo e inerte.

Sustrato	Tipo	Descripción
Fibra de coco	Activo	Proveniente de los residuos de la industria de coco, presenta estructura uniforme y alta capacidad de aireación, es decir, con alta porosidad total. Buenas características físicas, químicas y además demuestra ser eficiente para la producción de plantas forestales y hortalizas
Aserrín	Activo	Subproductos de la industria de la madera, económicamente viable, lenta descomposición, presentan alto contenido de C/N. Según la especie del cual derive el aserrín, los contenidos de nitrógeno pueden variar, presenta desventajas por exceso de humedad, favoreciendo la compactación.
Turba	Activo	Conocido como peat moss, de origen vegetal, compuesto por briofitas del género Sphagnum, un estado de semidescomposición. Este material es mezclado con otros componentes pues su hidratación puede ser compleja
Compost	Activo	Es la acción de diversos microorganismos sobre la materia orgánica fresca, por un proceso de elevadas temperaturas, reducción de volumen y de peso de los residuos y oscurecimiento el

		material. Reducción de la densidad aparente, alta macro porosidad y retención de agua
Perlita	Inerte	Mineral compuesto de silicato de aluminio de origen volcánico, elaborado a altas temperaturas, que genera como producto partículas blancas de peso liviano. Se especializa por tener estructura de celdas el cual permite un buen drenaje y buena porosidad. Baja CIC.
Vermiculita	Inerte	Se caracteriza por ser ligera en peso, una estructura conformada por placas, dando una alta proporción en superficie y volumen lo que conlleva a una alta retención de humedad. Posee altas cantidades de potasio y magnesio, elevada CIC. Se utiliza generalmente en combinación con otros sustratos activos.
Arena	Inerte	Su capacidad de retención del agua es media, mientras la aireación disminuye con el tiempo a causa de la compactación; su CIC es nula y la velocidad de infiltración es alta

Nota: La información plasmada se basó en datos recolectados por el autor Sanchez, (2017), en su tesis titulada Sustratos, tamaño de recipiente y ambiente de cultivo en el crecimiento inicial de *Cariniana pyriformis* Miers.

3.6 Antecedentes

3.6.1 Antecedentes internacionales

Castro (2023) realizó un estudio titulado “EVALUACIÓN DE TRES SUSTRATOS PARA MEJORAR EL PROCESO DE GERMINACIÓN EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*) BAJO CONDICIONES DE VIVERO” en la Universidad Agraria del Ecuador, con el objetivo de evaluar tres sustratos para mejorar el proceso de germinación en arazá mediante diseño experimental bajo condiciones de vivero. El ensayo se diseñó con un enfoque experimental utilizando un diseño completo al azar, donde se compararon tres tratamientos: Arena de río 40% + tamo 20% + gallinaza 40% (T1), arena de río 40% + tamo 20% + humus 40% (T2) y arena de río 40% + tamo 20% + compost 40% (T3), junto con un testigo convencional (arena de río 50% + 50% tamo). Las variables evaluadas fueron el porcentaje de germinación, número de hojas, altura de plántula y longitud radicular, con registros tomados cada 20 días hasta los 90 días después de la siembra.

Los resultados mostraron que el tratamiento con humus (T2) presentó el mejor desempeño, alcanzando un 92% de germinación y un desarrollo radicular óptimo, mientras que el tratamiento con gallinaza (T1) inhibió la germinación debido a su efecto fitotóxico. El tratamiento con compost (T3) mostró una germinación baja del 11%, y el testigo convencional alcanzó un 20% de germinación. El estudio concluyó que el uso adecuado de sustratos orgánicos mejora significativamente la calidad de las plántulas, resaltando la importancia de la composición y manejo adecuado del sustrato en vivero (Castro, 2023).

Zamora, (2024) en su investigación titulada “Efecto de varias fuentes de sustratos sobre la etapa de germinación y crecimiento de las plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), presento como objetivo evaluar efecto de varias fuentes de sustratos sobre la etapa de germinación y crecimiento de las plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Mediante un diseño completamente al azar, constituido por 8 tratamientos en 9 repeticiones y las medias de los

tratamientos se compararon con la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Los tratamientos evaluados fueron: T1: 60% suelo agrícola+40% compost, T2: 60% suelo agrícola+40% humus, T3: 60% suelo agrícola+40% arena de río, T4:50% suelo agrícola+50% compost, T5:50% suelo agrícola+50% humus, T6:50% suelo agrícola+50% arena de río, T7:50% suelo agrícola+25% humus+25% arena de río, T8:100% suelo agrícola.

Asimismo, Zamora, (2024) indico que los principales resultados obtenidos en la investigación, resaltaron en los tratamientos 1, 2, 3, 6 y 7, registraron un 100% de germinación. Las plantas producidas en los ocho tratamientos, fueron todas iguales estadísticamente en las variables de estudio como: altura de planta, diámetro del tallo, numero de hojas, longitud radicular, peso húmedo y peso seco de la raíz. Concluyendo que las plantas se desarrollaron óptimamente en todos los tratamientos, cada una se comportaron de una manera muy similar, pero el tratamiento T1 (60% suelo agrícola+40% compost) con mejor promedio.

3.6.2 Antecedentes nacionales

De acuerdo con la investigación de campo propuesta por Mosquera & Rojas (2024) “Evaluación de Sustratos Biodegradables en Vivero de Cacao en el Municipio de Albania, Caquetá”, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD. Se dividió en tres tipos de diseño, parcelas divididas (SPD) para evaluar múltiples factores y sus interacciones, el diseño factorial para analizar combinaciones de tratamientos y el diseño experimental con bloques completos al azar (DBCA). Se evaluaron ocho tratamientos con cuatro repeticiones, los cuales fueron los siguientes T0: Pílon tradicional (Testigo) T1: Pílon de sustrato de fibra coco (RV-CA-005 80 x 160mm) T2: Pílon de sustrato de fibra de palma (RV-CA-005 80 x 160mm) T3: Pílon de sustrato de fibra coco (RV-FO-006 50 x 190 mm) T4: Pílon de sustrato de fibra de palma (RC-FO-007 50 x 190mm) T5: Pílon de sustrato de fibra coco (RV-CA-005 80 x 160mm) + Plan Nutricional T6: Pílon de sustrato de fibra de palma (RV-CA-005 80 x 160mm) + Plan Nutricional T7: Pílon de sustrato de fibra coco (RV-FO-006 50 x 190 mm) + Plan Nutricional T8: Pílon de sustrato de fibra de palma (RC-FO-007 50 x 190mm) + Plan Nutricional; Cada

tratamiento consta de 10 unidades en evaluación, es decir, en total 40 unidades (Mosquera & Rojas, 2024).

Los resultados principales indican que los pilones biodegradables de fibra de coco, con fertilización presentaron los mejores resultados en altura y número de hojas, promoviendo un desarrollo óptimo de las plántulas. Sin embargo, el tratamiento con pilón de fibra de palma y plan nutricional, demostró una alta tasa de mortalidad del 88%, debido a su sobrefertilización. Concluyendo de esta manera que los pilones biodegradables representan una alternativa viable y sostenible frente a los pilones tradicionales, contribuyendo a la reducción de residuos plásticos y mejorando la calidad del material vegetal (Mosquera & Rojas, 2024).

Quintero & Acosta (2020) elaboraron un trabajo titulado “Evaluación de crecimiento en vivero con tres sustratos y un enraizante natural en la especie *Paulownia Elongata* en el municipio de Villavicencio – Meta”. Enfocado en una investigación de método explorativo, donde se manipularon 50 semillas de *Paulownia Elongata*, las cuales se evaluaron en tres sustratos: Ensayo 1 (Cascarilla de arroz + Arena), ensayo 2 (Tierra negra + Cascarilla de arroz + Turba californiana), ensayo 3 (Turba California + Cascarilla de arroz) y Testigo (Tierra negra del sitio donde se realiza el estudio), con 10 repeticiones cada uno, dicho proceso se realizó en el vivero La Reforma. En conclusión, se encontró mejores resultados en cuanto a crecimiento del tallo con el ensayo 2, lo que demuestra que la *Paulownia* para su correcto desarrollo en vivero, requiere suelos más sueltos, que le permitan en mayor medida su crecimiento radicular, sin embargo, con el ensayo 3 su crecimiento foliar fue mayor y el desarrollo del tallo fue más homogéneo que con el ensayo 2 (Tierra negra + Cascarilla de arroz + Turba californiana). Se demostró que la implementación tras los resultados obtenidos del desarrollo y crecimiento, no fueron los esperados lo que lleva a concluir que la especie *Paulownia Elongata* propagada vegetativamente con los suelos y climas del Meta no son aptos para grandes producciones (Quintero & Acosta (2020).

3.7 Marco Contextual

3.7.1 Zona estudio

El municipio San Martín de los Llanos está localizado a $3^{\circ}41'46.9''$ N $73^{\circ}41.974'$ O, situado a 66 kilómetros de Villavicencio, presenta una altitud de 420 msnm, precipitación de 3.070, mm/año y una temperatura promedio de 25 a 29 °C. perteneciente al departamento del Meta resalta por su tradición cultural y folclórica es reconocido como “La Cuna del Folclor Llanero”; se fundó en 1585 considerándose el municipio más antiguo del Meta, presenta una descripción geográfica de planicies, rodeado de sabanas, lomeríos y vegas. Contando con aproximadamente una superficie de 595.992 hectáreas, resaltando de esta manera como uno de los municipios más grandes del departamento (Alcaldía Municipal, 2025) .

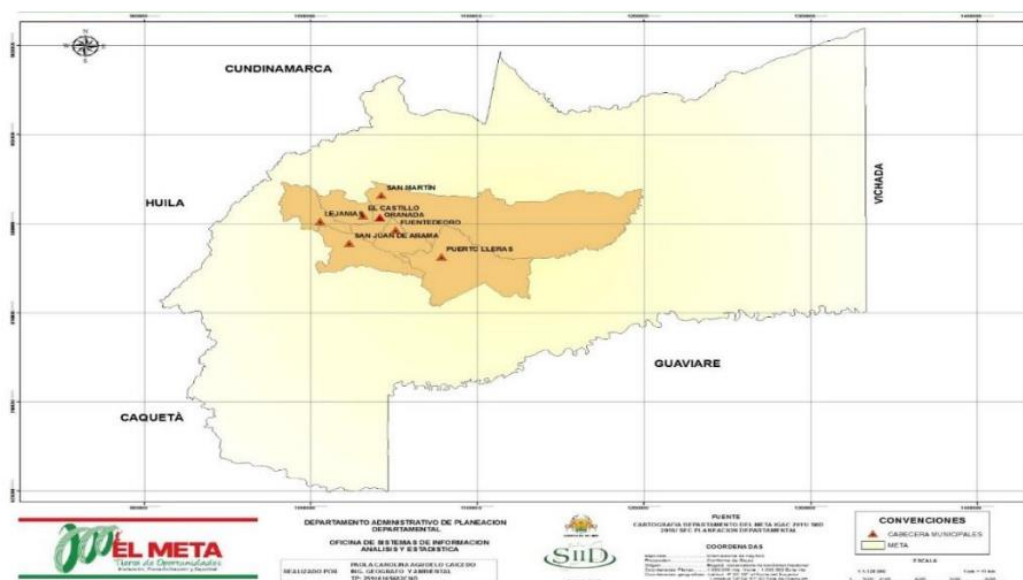


Figura 1. Mapa político administrativo-Subregión Ariari, 2016.

Limita por el lado Norte con Guamal, Castilla La Nueva, San Carlos de Guaroa y Puerto López; Este se ubica Puerto Gaitán y por el Sur limita con Fuente de Oro, Puerto Lleras y Mapiripán y por el Oeste con Granada, El Castillo, El Dorado y Cubarral (Turismo, 2025).

3.7.2 Actividades socioeconómicas

Las principales actividades económicas que el municipio desarrolla se basan según SIID (2016), la producción agrícola (19%), producción pecuaria y caza (14%), obras de ingeniería civil (14%) y actividades de servicio de las empresas (3%). La agricultura representa un 1,74% de la superficie. La palma de aceite es el principal representa 6.513 ha, arroz con 1.945 ha, patilla 500 ha, yuca 150 ha, cítricos 120 ha y por último el plátano con 120 ha, a su vez se comprenden 199.979 hectáreas entre bosques y urbanización. El sector ganadero que es la actividad económica principal dispone del 63% con las 375,170 hectáreas son destinadas a pasturas, con 137.846 cabezas de ganado equivalentes a 2,72 cabezas/hectárea porcentajes y hectáreas descritas por la Alcaldía Municipal de San Martín de los Llanos – Meta.

3.7.3 Descripción de la empresa

Cooperativa Multiactiva Nudo Agrícola Cacaotero (WORKAKAO) es una organización de segundo nivel, sin ánimo de lucro, con sede principal en el Municipio de Guamal-Meta, la cual fue creada en septiembre del 2018 con el objetivo inicial comercialización de grano de cacao seco, educación cooperativa, apoyo a los emprendimientos y manejo ambiental; actualmente tiene como objetivo social promover el desarrollo empresarial y el emprendimiento conforme a la Ley 1014 de 2006 u otras normativas pertinentes (WORKAKAO, 2025).

El vivero Aromas del Ariari es símbolo de resistencia y desarrollo para una región marcada por el posconflicto, es considerado el segundo más grandes del país con una capacidad de producir 700.000 plántulas de cacao en dos ciclos por año, el vivero es parte del proyecto “Viveros para la Paz”, gracias a la financiación del Gobierno de Canadá, la Compañía Nacional de Chocolates, Repsol y Socodevi, se logró crear en el año 2019, el vivero Aromas del Ariari situado a un (1) Kilometro del casco urbano del municipio San Martín, con el objetivo de contribuir al desarrollo rural sostenible, donde se cuenta con más de 900 familias asociadas a la

cooperativa y generar mejores condiciones de vida para los productores y asociados (WORKAKAO, 2025).

El vivero Aromas del Ariari produce y suministra material vegetal de cacao de alta calidad, asegurando una trazabilidad del 100% y cumplimiento normativo ICA, garantizando así su origen y buen desempeño en campo. Su enfoque se centra en la distribución de clones altamente productivos, resistentes a enfermedades y plagas, además de ser reconocidos por su fino sabor y aroma. Entre los materiales disponibles para los productores y asociados se encuentran FSV 41, FEAR 5, ICS 1, FEC-2, CCN 51 y CNCH 12, los cuales son propagados sobre el patrón universal IMC-67, asegurando adaptabilidad y vigor.

3.8 Bases Conceptuales

3.8.1 Compostaje

Es un proceso biológico de la mezcla de materia orgánica en condiciones aeróbicas, cuyo objetivo es el compost, este se emplea para mejorar la estructura del suelo, suministrar nutrientes y también ayuda a la retención de humedad, la actividad microbiana y fertilidad del suelo (Roma et al., 2013).

LEANpio, describe que el aspecto del compost debe ser totalmente oscuro y no presentar los deshechos o materiales implementados, el olor debe ser a tierra de bosque, si presenta un olor amoníaco o podrido, no es apto y la textura debe ser suelta y granulosa, este no debe gotear ni desmenuzarse (2022).

3.8.2 Suelo

El suelo es un componente esencial en el desarrollo vegetal, ya que actúa como soporte físico y fuente de nutrientes para las plantas. Se define como un cuerpo natural conformado por horizontes diferenciados, resultado del proceso de meteorización de materiales minerales, junto con la acumulación de materia orgánica, agua, aire y microorganismos (FAO,2025).

3.8.3 Arena de río

Material inerte granular compuesto por partículas minerales de diversos tamaños, originadas por la erosión y sedimentación en cuerpos de agua (SENA, 2024). La mezcla de arena de río en cantidades pequeñas ayuda a mejorar la estructura del sustrato y retención de humedad (Charco, 2025).

3.8.4 Cascarilla de arroz

Es un tejido vegetal lignocelulósico conformado por un 85% de materia orgánica según lo describe Páez et al (2016), indicando que está compuesto por lignina, D-xilosa y pequeñas cantidades de D- galactosa; destaca por su peso liviano, alta porosidad, buena aireación y retención de agua, aportando nutrientes como fosforo y potasio (SENA, 2024).

3.8.5 Fibra de coco

Parte del mesocarpio del fruto de coco, según Fertilab en su descripción, indica que la fibra de coco está constituida por una capa externa e interna, con una alta proporción de pectina y externamente concentraciones de lignina. Es un sustrato que se caracteriza por su buena porosidad favoreciendo al vigor de las raíces, a su vez es capaz de retener buena humedad sin llegar a saturarse, drenando excesos y manteniendo una buena aireación (2014).

3.8.6 Pseudotallo de plátano

El pseudotallo del plátano es una estructura herbácea que cumple la función de sostén de la planta, no es un tallo verdadero. Está compuesto en un 96,7% por humedad, además de contener celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas (Sánchez et al., 2015). Es una materia prima de interés para su aprovechamiento en mezclas de sustratos, mejorando la retención de humedad y la estructura del medio de cultivo.

3.8.7 Cascara de cacao

Una excelente manera de aprovechar los residuos del cacao después de la cosecha, es mediante el uso de la cáscara del fruto. Este material aporta humedad, ceniza, celulosa, nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes esenciales que favorecen el desarrollo de las plántulas cuando se emplea como sustrato (Jacobo & Garcia, 2022).

3.8.8 Semilla

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define una semilla como “Un organismo vivo enclavado en un tejido de soporte o de almacenamiento de reservas y un tegumento, la cual cuando es sembrada produce una plántula normal capaz de desarrollarse en una planta” (2016).

Las partes esenciales de una semilla son:

El embrión: Formado por un eje embrionario que está unido a una o dos hojas, llamadas cotiledones, el eje embrionario lo conforman dos partes, una parte que está por encima del cotiledón, conocida como epicotilo, el cual da lugar al brote terminal. En la parte del eje, por debajo del cotiledón está el hipocótilo o conocida como la zona intermedia entre la raíz y el tallo (Cuadra, 2006).

Las envolturas seminales: Rodean completamente la semilla y la protegen del exterior del medio ambiente y regulan los intercambios que se producen en el interior y exterior de la semilla, por ejemplo: Duras, permeables, duras, impermeables, blandas y mucilaginosas (Cuadra, 2006).

Almacenamiento de alimento: Las células de este tejido embrionario almacenan sustancias nutritivas esenciales, las cuales permitirán que el embrión lleve a cabo su respiración, crecimiento y desarrollo. Estas reservas energéticas sostienen la plántula en sus primeras etapas, hasta que sea capaz de realizar la fotosíntesis y absorber nutrientes del sustrato de manera autónoma (Cuadra, 2006).

3.8.9 Germinación

Cuadra (2006), define que es un proceso, donde el embrión comienza a crecer hasta que se ha formado una pequeña planta que puede vivir por sí misma. Una buena germinación está acompañada tanto de la semilla como el ambiente que la rodea.

Etapas de germinación:

Imbibición: Proceso durante la semilla absorbe agua y se hincha.

Digestión y transporte de alimentos: Lo primero que necesita el embrión para iniciar su desarrollo es una fuente de nutriente. Por ello, libera enzimas digestivas que descomponen las reservas almacenadas en los cotiledones, permitiendo que el embrión aumente su actividad metabólica (Cuadra, 2006).

Elongación celular: Antes de la germinación, las células embrionarias son pequeñas y el crecimiento inicial del embrión ocurre debido a la expansión celular y no a la multiplicación de células (Cuadra, 2006).

Germinación visual: Durante el proceso de elongación celular, el embrión experimenta una expansión progresiva hasta que uno de los extremos del eje embrionario rompe las envolturas seminales. Este evento marca la primera evidencia visible de la germinación de la semilla. El primer órgano en emerger es la radícula, ubicado en el extremo libre del hipocótilo, la cual dará origen al sistema radicular de la planta (Cuadra, 2006).

Plántula: Es la etapa inicial, que cuenta con radícula y su primer brote, pero está todavía depende de las reservas nutricionales almacenadas en la semilla para su desarrollo (Cuadra, 2006).

3.9 Marco Legal

Se aplica las normativas durante el proyecto bajo la Universidad de Pamplona fundamentado por el Reglamento Estudiantil Académico (Acuerdo No.186 del 02 de diciembre de 2005).

3.9.1 Capítulo VI. Trabajo de grado

Artículo 35. Definición de Trabajo de Grado: El plan de Estudios de los programas, la Universidad establece como requisito para obtención del título profesional, la realización por parte del estudiante, un trabajo especial que se denomine “TRABAJO DE GRADO”.

Parágrafo segundo: Acuerdo No.081 del 17 de agosto de 2007 “El Trabajo de Grado se podrá matricular a partir del 8º. semestre, dependiendo de la modalidad, hasta con máximo dos (2) asignaturas. El Trabajo de Grado debe sustentarse ante un Jurado, compuesto por tres (3) personas conocedoras del tema y puede recibir como calificación: “Aprobado”, “Excelente” o “Incompleto”, cuando no cumpla con los objetivos propuestos en la modalidad en la cual se adelanta, en tal caso, el estudiante deberá matricularlo nuevamente en el semestre académico siguiente”.

Parágrafo tercero: Acuerdo No.056 del 25 de junio de 2007: La calificación del trabajo de grado, tendrá la siguiente equivalencia: Excelente (4.5); Aprobado (4.0) E incompleto (1).

Artículo 36. Modalidad de Trabajo de Grado, bajo el Acuerdo No.004 de 12 de enero de 2007

d. Práctica Empresarial: Comprende el ejercicio de una labor profesional del estudiante en una empresa, durante un período de tiempo. Cuando el estudiante seleccione esta modalidad, deberá presentar al director de Departamento el anteproyecto, que debe contener: nombre de la empresa, descripción de las características de la empresa, objetivos de la práctica, tipo de práctica a desarrollar, tutor responsable de la práctica en la empresa, cronograma de la práctica, presupuesto (si lo hubiere) y copia del convenio interinstitucional Universidad – Empresa o carta de aceptación de la empresa.

Parágrafo Primero: Un estudiante matriculado en Trabajo de Grado, sólo desarrolla una de las modalidades y podrá escogerla dentro de la oferta que el Departamento respectivo disponga.

3.9.2 Resolución No. 0780006 (25/11/2020)

“Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de viveros y/o huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material vegetal de propagación para la siembra en el país”.

ARTÍCULO 1.- OBJETO. Establecer los requisitos para el registro de viveros y huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material vegetal de propagación y/o plantas vivas para la siembra u ornato en el país con el fin de garantizar su calidad.

ARTÍCULO 2.- ÁMBITO DE APLICACIÓN. Las disposiciones establecidas en la presente resolución serán aplicables a todas las personas naturales o jurídicas, que se dediquen a la producción, y/o comercialización de material vegetal de propagación y/o plantas vivas a través de viveros y huertos básicos para la siembra u ornato en el país.

3.9.3 Resolución No. 003434 (28 NOV 2005)

ARTÍCULO 1.- Establecer normas para la producción, distribución y comercialización de materiales de propagación de cacao y plántulas reproducidas vegetativamente.

4. Metodología

4.1 Área de estudio

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Vivero Aromas del Ariari, perteneciente a la Cooperativa Multiactiva Nodo Agrícola Cacaotero (WORKAKAO), localizado a $3^{\circ}43'05''\text{N}$ - $73^{\circ}42'00''\text{W}$, situado a un (1) Kilometro del casco urbano del municipio San Martín, Meta, la región presenta un clima cálido húmedo, correspondiente entre 25 a 29 °C.



Figura 2. Instalaciones Vivero Aromas del Ariari. (*Fuente: earth. google, 2025*)

4.2 Diseño

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) implementado un total de 150 plantas, las cuales fueron distribuidas en 75 individuos en cada tratamiento: T1 (suelo cernido + cascarilla de arroz + Arena de río) y T2 (compost a base de residuos de cosecha de cacao). Asimismo, se tomaron al azar 20 plantas en cada tratamiento, para medir las variables de altura de tallo, diámetro de tallo, longitud de raíz y número de hojas. Todas las variables se sometieron a una prueba de Wilcoxon para muestras independientes, que ayudó a determinar las posibles diferencias significativas entre los tratamientos durante los 60 días de estudio después de la siembra.

4.2.1 Preparación de tratamientos

La preparación del tratamiento se llevó a cabo siguiendo los protocolos establecidos por el vivero, asegurando el adecuado uso de los insumos (Suelo, cal, cascarilla de arroz y arena). A continuación, se detalla el procedimiento implementado para la elaboración del tratamiento 1.

Tratamiento 1 (suelo cernido + cascarilla de arroz + Arena de río)

Para la elaboración del sustrato, se emplearon insumos tales como arena de río, cascarilla de arroz, suelo y cal dolomita. Estos materiales fueron procesados adecuadamente, con la ayuda de herramientas de apoyo como palas, zarandas y carretillas. Teniendo en cuenta que cada carretilla implementada en la elaboración del sustrato, equivale a una medida de 50 kilogramos. A continuación, los pasos a seguir en el proceso de preparación del sustrato.

Paso a paso:

1. Realizar Análisis de suelo.
2. Cernir el suelo para eliminar terrones e impurezas.
3. Agregar doce (12) carretillas de suelo cernido.
4. Adicionar 800 gr de cal dolomita.
5. Agregar seis (6) carretillas de cascarilla de arroz.
6. Añadir dos (2) carretillas de arena de río.
7. Mezclar hasta obtener un sustrato homogéneo.

Tratamiento 2 (Compost)

El compost fue suministrado por la biofábrica de la cooperativa WORKAKAO, el cual estaba compuesto por desechos de cosecha del cultivo de cacao (cáscara de cacao y pseudotallo de plátano), materiales que fueron seleccionados por su capacidad para mejorar la estructura, retención de humedad, aporte nutricional de microorganismos eficientes y beneficio de disminuir el uso de insumos externos como fertilizantes. Se implementaron aproximadamente 100 kg de compost.

En la siguiente tabla se indicada las relaciones de los dos tipos de sustratos evaluados.

Tabla 4.

Composición de cada tratamiento implementado.

Tratamientos	Sustratos	Relación proporcionada de componentes
T1	Suelo cernido + cascarilla de arroz + Arena de río.	6-3-1
T2	Compost	100

Nota: (Archivo personal)

4.2.2 Llenado de bolsas.

Los recipientes empleados para dicho trabajo, fueron los recomendados en el *Manual técnico para la producción de semilla de cacao en vivero para los Santanderes y Boyacá*, (Agrosavia,2021). En dicho documento se describe la implementación de bolsas de polipropileno calibre 2,5 con dimensiones de 30 cm de largo por 15 cm de ancho, con fuelle y perforadas en la parte inferior. La bolsa se llena completamente del sustrato, aplicando presión durante el proceso para evitar dejar espacios (Anexo 12).

4.2.3 Ubicación de bolsas

Agrosavia, (2021) indica que las bolsas llenas deben ser dispuestas en hileras de máximo 3 o 4 bolsas de ancho (60 cm), con una longitud entre 10 y 15 m, de acuerdo con el tamaño del vivero.

4.2.4 Selección de semilla

La semilla destinada para patronaje, es proveniente de San Vicente de Chucurí - Santander, corresponde a la variedad IMC-67. Para el desarrollo del procedimiento de selección de semilla, se implementaron baldes o tinas, costal de fique, agua y un fungicida preventivo. A continuación, se describe el procedimiento que se llevó a cabo.

Pasos a seguir según Agrosavia, (2021) e implementadas en el vivero Aromas del Ariari:

1. La semilla se dejó aproximadamente 12 horas en remojo.
2. Se lavo el grano con agua limpia, repitiendo el lavado hasta eliminar completamente el mucílago.
3. Se colocaron las semillas en un medio húmedo (preferiblemente sobre costal de fique o aserrín blanco libre de taninos).
4. Antes de la siembra, las semillas se trataron con un fungicida de acción sistémica y protectora, preferiblemente de origen natural, con el objetivo de prevenir la incidencia de patógenos y garantizar un adecuado establecimiento en vivero.

Agrosavia, (2021) señala que, para optimizar la emergencia de la radícula, este proceso puede extenderse hasta aproximadamente tres días, dependiendo de las condiciones ambientales y viables de la semilla. Las semillas con deformación radículas (cuello de ganso), de tamaño pequeño, fermentadas, proceso de oxidación en la punta de la radícula o presencia de hongos, no debe ser sembradas. La semilla que no germine al cuarto día deber ser eliminada (HCP, 2024).

4.2.5 Siembra

Se realizó la siembra de la semilla pregerminada en cada bolsa, introduciéndola verticalmente y suavemente, asegurando que la radícula quedara en contacto directo con el sustrato previamente hidratado, repitiéndose este proceso en la siembra del T1. Es importante que se deje aproximadamente la mitad de la semilla expuesta sobre la superficie del sustrato (HCP, 2024).

4.2.6 Riego

Según las indicaciones dadas por Agrosavia (2021) el riego se realizó con la implementación de microaspersores, para el uso eficiente del agua. Generalmente en la etapa de germinación se debe regar dos veces al día en las primeras horas de la mañana y en la tarde.

4.2.7 Fertilización

Transcurridos 15 días después de la siembra (dds) e identificando la semilla germinada en campo, se realizó la fertilización de ambos sustratos T1 y T2, aplicando un fertilizante NPK de liberación controlada con fórmula 19-8-12-2 MgO (SUMICOAT I) en una dosis de 5 gramos, equivalentes a una tapa de gaseosa.

1. Fue realizado un hoyo aproximado de 10 cm al borde de la bolsa de la plántula.
2. Se realizó la aplicación del fertilizante con la implementación de una tapa de gaseosa equivalente a (5 gr) por planta.
3. Los hoyos fueron cubiertos con sustrato.

4. Este proceso fue repetido al tratamiento T1.

4.2.8 Control de arvenses

Se realizo el control de forma manual con el objetivo de causar el menor daño a la plántula de cacao y de esta manera se evitará la competencia por agua y nutrientes.

4.3 Variables evaluadas

A partir de la siembra después de los 12 días transcurridos, se evaluó el porcentaje de germinación, para continuar, con el proceso de registro de datos, de las variables: Altura de plántula, diámetro del tallo, el número de hojas y crecimiento radicular a evaluar en tres momentos clave: 20, 40 y 60 días después de la siembra (dds). Considerando, además, la identificación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales.

4.3.1 Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación de las plántulas de cacao fue calculado partir de la siembra después de los 12 días transcurridos, siguiendo la fórmula propuesta por (Defaz, 2016). Cada tratamiento estuvo conformado por un total de 75 unidades, permitiendo expresar los resultados en términos porcentuales.

$$P G = \frac{NPE}{NPT} \times 100$$

PG: Porcentaje de germinación.

NPE: Número de plantas germinadas.

NPT: Número de plantas por tratamiento.

4.3.2 Diámetro de tallo (cm)

El diámetro del tallo se midió con un pie de rey a los 20 días después de la siembra y se continuó registrando a los 40 y 60 días después de siembra. Para cada tratamiento, se seleccionaron 20 plantas al azar.

4.3.3 Altura de plántula (cm)

Se registró la altura de las plantas implementado una cinta métrica, desde la base el sustrato hasta la yema terminal del tallo, a los 20 días después de la siembra y se continuó registrando a los 40 y 60 días. Para cada tratamiento, se seleccionaron 20 plantas al azar.

4.3.4 Longitud de raíz (cm)

Por cada uno de los tratamientos, se seleccionaron cuatro (4) plántulas al azar, a los 20 días después de la siembra y se continuara registrando a los 40 y 60 días. Se implemento una cinta métrica, tomando la longitud de la raíz, desde el cuello hasta la zona apical de la raíz.

4.3.5 Numero de hojas

A los 20, 40 y 60 días después de siembra (dss), se realizó el conteo del número total de hojas, por cada tratamiento se tomaron 20 plántulas al azar.

4.3.6 Identificación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales

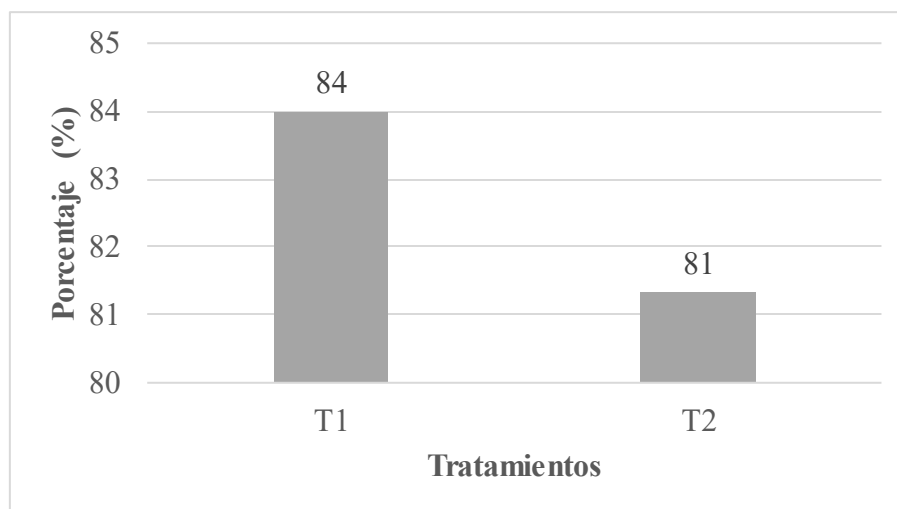
La observación directa en campo, según la guía práctica para la identificación de deficiencias (Intagri,2016), recomienda examinar el patrón simétrico de las hojas, posición y cambio de coloración (hojas nuevas y viejas) y la observación en toda la estructura de la planta.

5. Resultados y Discusiones

5.1 Porcentaje de germinación

Figura 3.

Comparación del porcentaje de germinación en T1 (Suelo cernido + cascarilla de arroz + Arena de río.) y T2 (Compost a base de cascara de cacao).



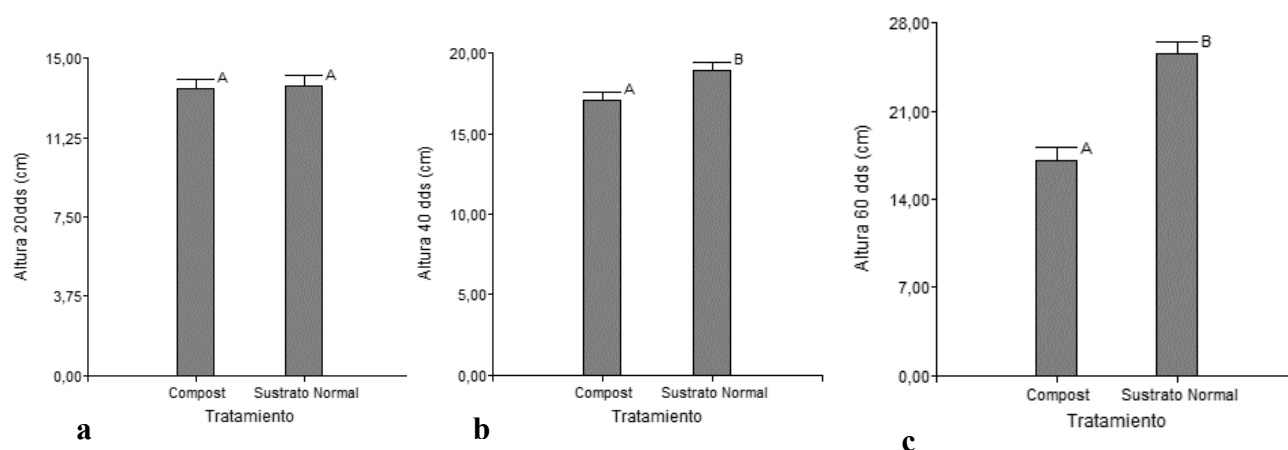
Nota: (Archivo personal).

Los resultados obtenidos muestran que el tratamiento T1 registró una germinación del 84%, mientras que el tratamiento T2 el porcentaje fue de 81%. Aunque ambos tratamientos presentaron un óptimo valor superior al 80%. La leve disminución en la germinación observada en el tratamiento T2 (Compost), se podría atribuir a las características físicas del compost implementado. Según Osorio et al., (2017), los sustratos con alta retención de humedad pueden limitar la oxigenación necesaria para la germinación, afectado de esta forma la emergencia de la plántula. El tratamiento T1 demostró una ventaja, debido a su mejor equilibrio entre retención de humedad y aireación. Por lo tanto, ambos tratamientos demostraron ser efectivos para la germinación de semillas de cacao.

5.2 Altura de planta a los 20, 40 y 60 días después de siembra.

Figura 4.

Comparativas del promedio de altura a los 20, 40 y 60 días después de siembra.



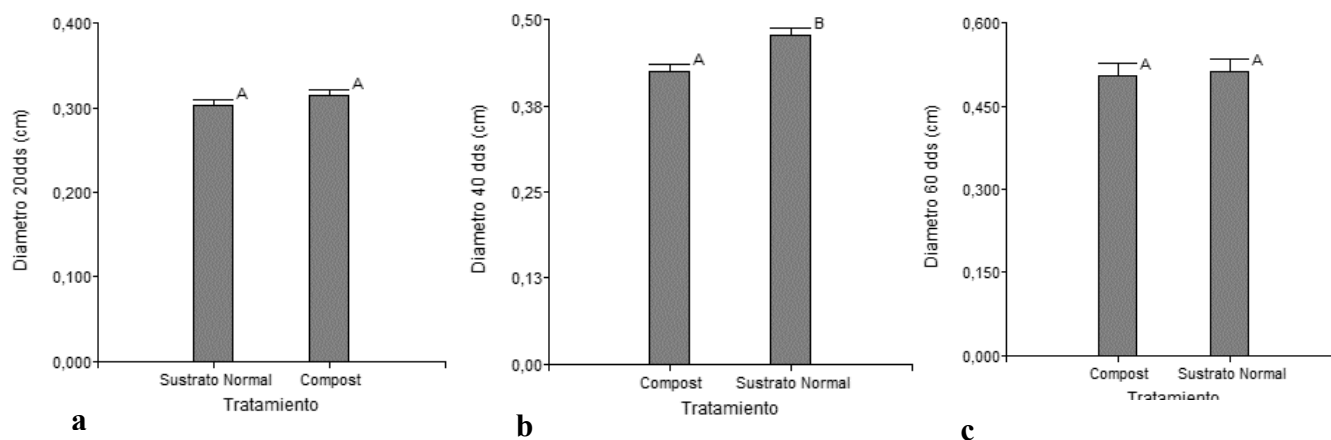
Nota: Medias seguidas por letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos por la prueba de Wilcoxon al 5% de probabilidad. (*Archivo personal*).

La **Fig 4** representa la comparación del crecimiento en altura de las plantas de cacao bajo dos tratamientos T1 sustrato normal (Suelo cernido + arena+cascarilla) y T2 compost (Residuos del cultivo de cacao). Demostrando a los 20 días después de siembra (**Fig 4a**), que ambos tratamientos registran alturas similares, con valores promedios de 13,54 cm para el compost y 13,70 cm para sustrato normal, sin presentar diferencia significativa, debido a que, valor bilateral de $p = 0,7539$, no es menor que 0,05 (**Anexo 5**), sugiriendo que en los primeros días ambos tratamientos brindaron condiciones similares para la emergencia inicial. En comparación a partir de los 40 días después de siembra, se evidencia una diferencia significativa entre los dos tratamientos, donde el T1 alcanza un promedio de 19 cm, superando al T2 que presento 17,04 cm (**Fig 4b**). Esta tendencia se sigue demostrando a los 60 dds, donde el sustrato norma (T1) mostro un crecimiento promedio de 25,48 cm, mientras que el compost (T2) se mantuvo en 17,08 cm, lo que representa una diferencia significativa más marcada entre ambos tratamientos de valor bilateral $p \leq 0,0001$ (**Anexo 5**).

5.3 Diámetro de tallo a los 20, 40 y 60 días después de siembra.

Figura 5.

Comparativas del promedio de diámetro de tallo a los 20, 40 y 60 días después de siembra.



Nota: Medias seguidas por letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos por la prueba de Wilcoxon al 5% de probabilidad. (*Archivo personal*).

La variable diámetro de tallo a los 20 dds (días después de siembra) no muestra una diferencia significativa entre los tratamientos, como se observar en la (**Figura 5a**), debido a que ambos tratamientos presentar un desarrollo similar, con promedios de 0,31 cm para el T1 y 0,30 cm el T2. No obstante, a los 40 dds, se evidencio una diferencia significativa entre los tratamientos de un valor bilateral de $p=0,0028$ (**Anexo 5**), el sustrato normal alcanzo un promedio de 0,48 cm, superando al compost con 0,42 cm de diámetro (**Figura 5b**). Finalmente, a los 60 dds, ambos tratamientos alcanzan el mismo valor promedio de 0,51 cm, sin representar una diferencia significativa correspondiendo un valor bilateral de $p = 0,3602$ (**Anexo 5**).

Las variables morfológicas, como altura de la planta y diámetro del tallo, están estrechamente relacionadas, según Aldrete et al, (2023), debido a que, estas pueden determinar

el desarrollo de la planta en campo; Así mismo se confirma en un estudio realizado por Angulo et al., (2021) a medida que aumentaba la altura de las plantas, también lo hace el tallo, especialmente en condiciones de sustrato (Tierra negra + cascarilla de arroz) y volúmenes adecuados. El tratamiento T1 (Sustrato normal compuesto por suelo + arena + cascarilla), evidencio un crecimiento progresivo durante los 60 días de evaluación, alcanzando un promedio máximo de 25,48 cm de altura y un diámetro de 0.51 cm, a diferencia, de las plantas en el tratamiento T2 (compost a base de residuos de cacao), mostrando un crecimiento limitado a los 40 y 60 dds.

El desempeño del tratamiento T1, se atribuye a su estructura física adecuada del sustrato, gracias a la combinación de tierra y arena, que proporcionan una filtración de agua y soporte estructural (CNCH, 2021). Además, la cascarilla de arroz contribuyo a una buena aireación, aportando nutrientes como fosforo y potasio (SENA, 2024). Asimismo, Zamora (2024), determina que la implementación de arena de río permite a las raíces un desarrollen mucho mejor, permitiendo el adecuado crecimiento del tallo, favoreciendo así el diámetro del tallo, esto confirma lo sostenido por Cuenca, (2021) en su investigación, obtuvo un diámetro de plantas con un sustrato de Tierra negra, 50% + arena 20% + gallinaza 30%, con promedios 6,91 de mm 90 días respectivamente.

El T2 demuestra una menor altura debido los altos contenidos de materia orgánica suplementados por el compost, generando la presencia del patógeno de *Phytophthora* (CNCH, 2021). En el trabajo realizado por Espejo (2010) redacta que el T6 (Suelo agrícola + cascara de cacao), demuestra que el tamaño de las plantas en los primeros meses es aproximadamente de 15,76 cm, a diferencia de los demás tratamientos como suelo agrícola + mantillo (T1) con promedio de altura 29,84 cm y suelo agrícola + cascarilla de arroz (T2) con promedio de altura 28,49 cm, deduciendo que la cáscara de cacao en descomposición puede inhibidor el crecimiento de la planta, por contener sustancias o elementos químicos en exceso como es el caso del potasio. El exceso de potasio genera a la planta la incapacidad de absorber nutrientes como magnesio o el calcio, generando deficiencias de estos nutrientes y atrofia el crecimiento, debido a que altera

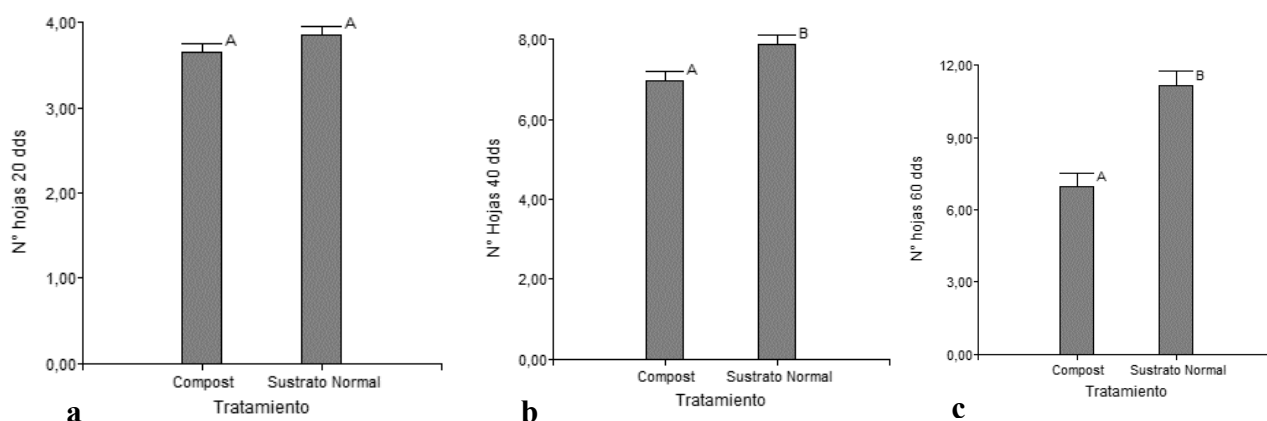
el equilibrio de nutrientes haciendo que el fósforo y el nitrógeno estén menos disponibles en el suelo (Southside,2023).

Estas dos variables (Altura de planta y diámetro de tallo) ayudan a determinar la etapa adecuada para realizar la injertación según Agrosavia (2021), el diámetro del tallo debe alcanzar aproximadamente 6 mm (0.6 cm), para permitir una correcta inserción del injerto en el patrón. Además, se tiene presente que el corte del patrón debe realizarse a una altura de 20 cm desde el cuello de la raíz, lo cual garantiza una adecuada compatibilidad y éxito del proceso de injertación (Método de injerto de púa). Por ende, en tratamiento T1, presenta el promedio de las medidas necesarias para establecer las plantas como patronaje y el adecuado sustrato para seguir la formación de las plantas de cacao. Destacando la importancia de observar y promover un crecimiento uniforme en altura y grosor del tallo durante la fase de vivero.

5.4 Numero de hojas

Figura 6.

Comparativas número de hojas a los 20, 40 y 60 días después de siembra.



Nota: Medias seguidas por letras mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos por la prueba de Wilcoxon al 5% de probabilidad. (Archivo personal)

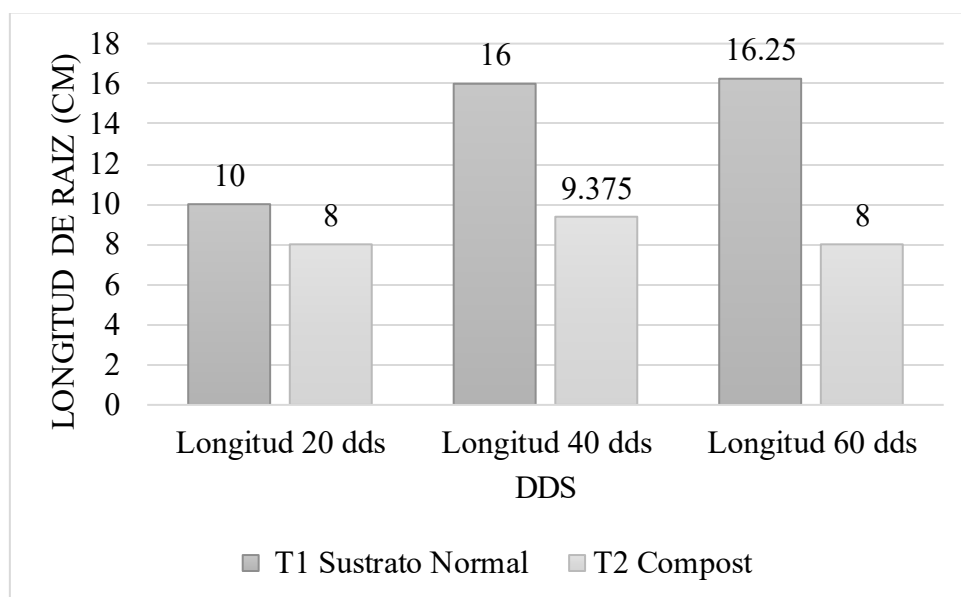
En la **Figura 6a**, se observa que a los 20 días después de siembra, no se evidencia una diferencia significativa en el número de hojas entre los tratamientos, presentado el compost (T2) un promedio de 3 hojas y el sustrato norma (T1) 4 hojas. Sin embargo, a los 40 dds (**Figura 6b**), se presenta una diferencia significativa del valor bilateral de $p=0,0228$ (**Anexo 5**), donde T2 alcanza un promedio de 6 hojas, mientras T1 8 hojas. A los 60 dds, sigue ascendiendo el promedio de hojas en el sustrato norma (T1) con 11 hojas y el compost se mantiene igual que a los 20 días después de siembra, comprendiendo una diferencia del valor bilateral de $p<0,0001$ (**Anexo**).

El número de hojas es un indicador clave del vigor vegetativo y la actividad fotosintética de las plantas, por consiguiente, el sustrato del Tratamiento 1, compuesto por suelo, arena y cascarilla de arroz, ofrece una adecuada porosidad, aireación y retención hídrica moderada, condiciones que favorecen el desarrollo de hojas, al mejorar la absorción de agua y nutrientes en el sistema radicular de la planta (Vallejo et al., 2018). El bajo desarrollo de hojas desde los 40 dss en el Compost (T2), se indujo debido a la presencia de deficiencias nutricionales y la aparición de la enfermedad de *Phytophthora* spp, lo cual atribuyo a la pérdida foliar de las plantas.

5.5 Longitud de raíz

Figura 7.

Grafica comparativa longitud de raíz a los 20, 40 y 60 días después de siembra.



Nota: (Archivo personal)

En la **Fig 7**, la longitud de raíz de las plantas bajo dos tratamientos de sustrato a lo largo de 20,40 y 60 días después de siembra evidencian una tendencia clara en el desempeño diferencial de ambos, esto a causa de que con el T1 (Sustrato normal) se nota un aumento progresivo y consistente a partir del día 40, alcanzando longitudes promedio de 16 cm, por otra parte, el (T2) compost, evidencio un crecimiento más limitado, con valores que no superan los 10 cm durante los 20,40 y 60 días de evaluación. Según Hass, redacta, que el exceso de compost genera una saturación de nutrientes, lo que genera un crecimiento desequilibrado. A demás, cuando el compost no está completamente descompuesto, su alta capacidad de retención de agua puede generar estrés hídrico, limitando la oxigenación en la zona radicular (2021).

Un retraso en el desarrollo del sistema radicular y atrofiamiento se debió también a la presencia del patógeno *Phytophthora* spp, según Parra & Camejo, las condiciones climáticas en las zonas cacaoteras se caracterizan por períodos de lluvias frecuentes, alta humedad relativa y temperaturas extremas, que son adecuadas para el desarrollo de patógenos en las plantas de cacao en vivero (2015). Martínez et al., (2017) afirma que la presencia de una película de agua sobre las hojas ayuda a diseminar el hongo, ocasionando manchas acuosas pardas irregulares, el sistema radicular se va afectando por una coloración oscura en el cuello de la raíz y va ascendiendo hacia la parte inferior de la planta, hasta provocar una muerte progresiva de la planta (**Figura 8**). A lo largo de la evaluación después de los 40 dds se presentó la pérdida de plantas por afectación de *Phytophthora* spp (**Anexo 6a**) deduciendo que las principales causas fueron: la posible falta de desinfección del compost y las lluvias que causaban encharcamientos en la zona de ubicación del T2 compost (**Anexo 6b**). Además, los altos contenidos de materia orgánica suplementados por el compost aumentan el riesgo de muerte por hongos (*Phytophthora*) (CNCH, 2021).



Figura 8. Afectación en plántula de cacao, parte foliar y sistema radicular por *Phytophthora* spp (**Fuente:** Propia de autor)

5.6 Identificación de síntomas visuales de deficiencias nutricionales.

Se observaron deficiencias nutricionales y síntomas de clorosis en las hojas del tratamiento T2 (Compost), como se muestra en la **tabla 5**.

Tabla 5.
Deficiencias nutricionales en T2 (Compost).

Figura	Nutriente en deficit	Síntomas
	Fe (Hierro)	Las hojas jóvenes se vuelven verde pálido y al avanzar la deficiencia se tornan cloróticas, con una coloración amarillo claro a casi blanco. Las venas se quedan verdes, solo en casos muy severos toda la hoja se vuelve blanca. A medida que la deficiencia progresa se presenta una punta aguda y delgada (YARA,2025).
	Zn (Zinc)	Las hojas se vuelven largas, delgadas y las venas de las hojas se ven como una malla verde sobre un fondo verde pálido (YARA,2025).



B (Boro)

Hojas deformadas, arrugadas, gruesas y quebradizas con manchas irregulares entre las venas (RAMAC & CRS, 2021)



Ca (Calcio)

Áreas necróticas entre las venas. Aparecen en las hojas más jóvenes, con manchas necróticas que comienzan como manchas blancas entre las venas cerca de los márgenes, que son más extensas en las hojas más viejas

Nota: Aproximadamente se identificaron nutrientes en déficit a los 30 días después de siembra.

Una de las deficiencias más marcadas en el T2 (compost a base de residuos de cultivo de cacao) fue la deficiencia de Fe (Hierro), esta deficiencia puede estar relacionada al pH del compost. De acuerdo con la CNCH (Compañía Nacional de chocolate) un sustrato con un pH ligeramente ácido puede retener los nutrientes, por otro lado, un pH muy alcalino, se asimila mal el hierro, provocando un desequilibrio en el proceso de fotosíntesis (2021). Los suelos con exceso de compost también tienden a tener concentraciones elevadas de fósforo y potasio, causando interferir con la capacidad de las plantas para absorber otros nutrientes esenciales, como el hierro, zinc y magnesio (García, 2020). Cuando ocurre la clorosis, el calcio se mueve desde los bordes hasta la nervadura central y el magnesio se mueve en la dirección opuesta. El calcio es necesario para el crecimiento saludable de los tallos jóvenes y el desarrollo de las raíces. El calcio también facilita la absorción y el uso del elemento boro (García, 2020). El hierro dentro de las plantas es un micronutriente esencial para la síntesis de clorofila, mantiene la estructura de los cloroplastos y actividad enzimática (Intagri, 2019).

6. Conclusiones

- Las variables de crecimiento evaluadas en los dos tratamientos T1 (suelo cernido + cascarilla de arroz + Arena de río) y T2 (Compost), evidenciaron que los parámetros morfológicos (Altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas) se desarrollaron mejor en el T1, debido a que las plantas alcanzaron un crecimiento progresivo desde los 20 hasta 60 días después de siembra (dds), con una altura inicial promedio de 13 cm y un valor final de 25 cm. El diámetro del tallo se incrementó de 0,31 cm a 0,51 cm, y el número de hojas culminó con un promedio de 11 hojas. Indicando que las proporciones 6-3-1 de suelo, cascarilla y arena, proporciono condiciones físicas y nutricionales favorables para el desarrollo de las plantas. En comparación del T2 (compost residuos de cosecha del cultivo de cacao) mostró un crecimiento limitado a partir de los 40 días después de siembra y susceptibilidad a patógenos como *Phytophthora* spp. estas condiciones comprometieron la calidad y la sanidad de las plantas.
- El sustrato apropiado para promover el desarrollo radicular de las plantas de cacao (*Teobroma cacao* L.), es el tratamiento T1 compuesto por el sustrato suelo cernido + cascarilla de arroz + Arena de río, porque este demostró un desarrollo y formación adecuada del sistema radicular, proporcionando el anclaje necesario a la planta y absorción de nutrientes, sin presencia de enfermedades.

7. Recomendaciones

- Si se desea implementar el compost, se recomienda realizar la desinfección adecuada de este, corrección de pH y la implementación de proporciones adecuadas, como lo recomienda AGROSAVIA en proporción 3:1:1, esta mezcla corresponde a un 60% de tierra, 20% de arena o cascarilla de arroz (como acondicionador físico) y 20% de materia orgánica (compost) y realizar es estudio necesario antes de llevarlo a cabo en la producción de plantas de vivero.
- Evaluar el desarrollo de las plantas bajo el tratamiento T1 (sustrato normal) después del proceso de injertación, con el fin de dar continuidad al estudio y documentar el comportamiento morfológico y del sistema radicular.

8. Referencias Bibliográficas

- Aldrete, A., Sánchez Velázquez, J., Aguilera Rodríguez, M., Cibrián Tovar, D y García Díaz, S. (2023). *Manual de buenas prácticas para el manejo de Salud de plantas en viveros forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México.
https://www.researchgate.net/publication/379911701_Calidad_de_planta_en_viveros_forestales
- Agrosavia. (2021) *Manual técnico para la producción de semilla de cacao en vivero para los Santanderes y Boyacá*. AGROSAVIA.
https://www.agrosavia.co/media/11522/ver_documento_36615.pdf
- Ângulo Villacorta, C., Mathios Flores, M., Racchumi Garcia, A., Bardales Lozano, M y Ayala Montejo, D. (2021). *Crecimiento de plántulas de cacao (Theobroma cacao) en vivero, usando diferentes volúmenes de sustrato*.
<https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/bd953fa9-a0f4-4f30-ab33-66db865bca9d/content>
- Alcaldía Municipal. (2025). *Información del Municipio* . Alcaldía Municipal de San Martín de los Llanos - Meta: <https://www.sanmartin-meta.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informaci%C3%B3n-del-Municipio.aspx>
- Castro, A. (2023). *EVALUACIÓN DE TRES SUSTRATOS PARA MEJORAR EL PROCESO DE GERMINACIÓN EN ARAZÁ (Eugenia stipitata) BAJO CONDICIONES DE VIVERO*. Cia.uagraria.
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CASTRO%20ANCHUNDIA%20JEAN%20CARLOS.pdf>

Charco. (2025). *Arena de Río*. Charco.org: <https://charco.org/service/arena-de-rio/>

CNCH. (2021). *MODELO PRODUCTIVO PARA EL CULTIVO DE CACAO (Theobroma cacao L.) MATERIAL VEGETAL Y PROPAGACIÓN*. Compañía Nacional De Chocolates : https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2024/02/PDF_WEB_FOLLETO_MATERIAL_VEGETAL.pdf

Cuadra, C. (2006). *GERMINACION, LATENCIA Y DORMICION DE LAS SEMILLAS. (Dormición en las avenas locales)* (págs. 1-27). MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACION. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1992_03.pdf

Cuenca Borrero, A. (2021). Evaluación del efecto de nueve sustratos en la producción de plántulas del Clon IMC (Tesis de grado, Universidad Estatal Del Sur De Manabi). Repositorio Institucional, Jipijapa. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3365/1/Alexander%20Geovanny%20Cuenca%20Borrero.pdf>

DATA tab (2025). DATA tab: Online Statistics Calculator. DATA tab e.U. Graz, Austria. <https://datatab.es>

Defaz Quilumba, C. (2016). “*Evaluación de diferentes tipos de sustratos en vivero de cacao (Theobroma cacao)*”. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. UTECQ: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7f85c8ab-3875-40f0-b6fa-5709034f2da8/content>

Espejo Meza, J. (2010). *EFFECTO DE DIFERENTES SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES DEL Theobroma cacao L MCACAO CRIOLLO" -EN EL SECTOR DE JACINTILLO- TINGO MARÍA*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/671ec5ce-6fa8-40b2-8645-434aa1f63b2d/content>

FAO. (2025). *Definición de suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) : <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

FAO. (2016). *Semilla y Variedad. Definiciones*. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/food-security-capacity-building/docs/Seeds/Training_Material/ParticipantsManual/Dia1/Dia_1_-_S3-H0Sistema_de_semillas-Clases_y_variedades__S3-H0_.pdf

FEDECACAO. (2021). *Guía técnica del cultivo de cacao* (págs. 31-39). Bogota.

Fertilab (2014). *Beneficios de la Fibra de Coco como Sustrato*. FERTILAB. https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Beneficios_de_la_Fibra_de_Coco_como_Sustrato.pdf

FINAGRO. (2020). *Ficha de inteligencia: CACAO*. Obtenido de FINAGRO: https://www.finagro.com.co/sites/default/files/ficha_de_inteligencia_-_cacao.pdf

García Mercado, S. (2020) *El Fósforo en el suelo y las plantas*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/el-f%C3%B3sforo-en-suelo-y-las-plantas-sandra-k/>

Garcia Ocampo, A. (2020). *Deficiencia de Calcio (Ca) en Cacao*. PlantwisePlus.
<https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/full/10.1079/pwkb.20207800509>

HASS. (2021). *El compost*. Obtenido de hassthailand: <https://www.hassthailand.co/en/can-compost-damage-soil-use-too-much-does-it-become-soil/>

HCP. (2024). *Guia Tecnica Para el Manejo de Viveros de Cacao*. The Heirloom Cacao Preservation Fun HCP Cacao:
https://www.hcpcacao.org/uploads/1/3/3/5/133562027/6_25_spanish_nursery_guide_formatted.pdf

ICA. (2020). *RESOLUCION No. 0780006 Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de viveros y/o huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material vegetal de propagación para la siembra en el país*. Obtenido de Instituto Colombiano Agropecuario - ICA:
<https://www.ica.gov.co/getattachment/56d15d28-b186-498e-bc07-7a6fcf65fb2c/2020R78006.aspx>

ICA (2006). ACUERDO No. 00, Por el cual se define el material genético para ser utilizado como clon en las diferentes regiones agroecológicas de Colombia y los clones a utilizar como semillas para patrones en la injertación de Cacao Obtenido de Instituto Colombiano Agropecuario - ICA:

Intagri (2016). *Guía Práctica para la Identificación de Deficiencias Parte I*.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/guia-practica-para-la-identificacion-de-deficiencias-parte-uno>

Intagri (2019). *El Hierro (Fe) en la nutrición vegetal*.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-hierro-en-la-nutricion-vegetal>

Jacobo Marroquín, J. y García Barrera, A. (2022). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UN SUSTRATO NUTRITIVO HECHO A PARTIR DE CÁSCARAS DE CACAO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE HORTALIZAS*. REVISTA TECNOLÓGICA N° 15
https://docs.bvsalud.org/biblioref/2023/01/1412635/articulo4_rt22.pdf

LEANpio.(2022). *¿Cómo evaluar la calidad del compost?*
<https://www.leanpio.com/es/blog/como-evaluar-calidad-del-compost#:~:text=El%20color%20debe%20ser%20de,que%20volver%20a%20re%2Dcompostarlo.>

Martinez Perez, S., Noceda, C., Zambrano, O., Parra, D., Cordova, L. y Sosa, D .(2017). *Descripción de plagas en viveros de cacao en el cantón Milagro a partir de diferentes fuentes de información*. Revista Ciencia UNEMI.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6430731>

Mosquera Soto, D. y Rojas Valenzuela, E. (2024). *Evaluación de Sustratos Biodegradables en Vivero de Cacao en el Municipio de Albania, Caquetá*. Repository UNAD
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/66460/Dmosqueraso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Osorio, M., Leiva, E. y Ramírez, R. (2017) *Crecimiento de plántulas de cacao (Theobroma cacao L.) en diferentes tamaños de contenedor*. Revista de Ciencias Agrícolas SciELO.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-01352017000200006

RAMAC y CRS. (2021). *Guía para la identificación y manejo de las deficiencias de nutrientes en el cultivo cacao (Theobroma cacao L.* PROGRESA CARIBE <https://progresacaribe.info/wp-content/uploads/2021/09/Guia-de-cacao-CRS-borrador-3.pdf>

Roman, P., Martinez, M. y Pantoja, A. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Obtenido de FAO. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>

Southside (2023). *Toxicidad del potasio en las plantas*. <https://southsideplants.com/blogs/plant-care/what-happens-when-you-overfertilize-your-plants-with-potassium#:~:text=Potassium%20buildup%20can%3A,buidup%2C%20leading%20to%20root%20stress>.

Parra, D. y Camejo, C. (2015). *Reconocimiento de enfermedades de cacao en vivero y su manejo*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) <http://sian.inia.gob.ve/pdfnp/MANEJO%20DE%20RECONOCIMIENTO%20DE%20ENFEREMDADES%20DE%20CACAO%20EN%20VIVERO.pdf>

Quintero Malagón, C. y Acosta Molina, A. (2020). *Evaluación de crecimiento en vivero con tres sustratos y un enraizante natural en la especie Paulownia Elongata en el municipio de Villavicencio – Meta*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/34975/cquinteromal.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Sánchez Rendón, J., Daza Serna, L., Hernández Piedrahita, V., Castro Galiano, E. y Cardona Alzate, C. (2015) *Análisis tecno-económico de una biorefinería a partir de residuos del plátano*. Instituto de Biotecnología y Agroindustria Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas ISSN: 1390-1869 N° 13. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1600/1256>

Sanchez Quintero, S. (2017). *Sustratos, tamaño de recipiente y ambiente de cultivo en el crecimiento inicial de Cariniana pyriformis Miers*. Obtenido de Repository AGROSAVIA:
<https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34056/Sustratos%2C%20tama%C3%B1o%20de%20recipiente%20y%20ambiente%20de%20cultivo%20en%20el%20crecimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SENA. (2024). *MANEJO DE SUSTRATOS Y FERTILIZACIÓN* . Obtenido de SENA:
<https://zajuna.sena.edu.co/pdfs/campesena/Manejo%20de%20sustratos%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20urbana%20-%20digital.pdf>

Turismo, C. (2025). *San Martín*. Obtenido de Colombia Turismo Web:
<https://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/META/MUNICIPIOS/SAN%20MARTIN/SAN%20MARTIN.htm#:~:text=San%20mart%C3%ADn%20fue%20fundado%20en,de%20los%20Llanos%20y%20Tunja.&text=Durante%20la%20%C3%A9poca%20de%20la,de%20San%20Mart%C3%ADn%20del%20Puerto>.

Vizcaino Villota, F. (2017). *Evaluación de tres tipos de sustratos en la producción de semilla básica de papa variedad súper chola (Solanum tuberosum L), bajo condiciones de invernadero*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO:

<https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3214/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000071.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WORKAKAO (2025). Cooperativa Multiactiva Nodo Agrícola Cacaotero. <https://www.workakao.com.co/>

WORKAKAO (2025). Cooperativa Multiactiva Nodo Agrícola Cacaotero. Vivero Aromas del Ariari <https://www.workakao.com.co/viveroaromasariari/>

YARA (2025) *Deficiencias nutricionales en café*. <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/cafe/deficiencias-cafe/deficiencia-de-hierro-cafe/>

YARA (2025). *Deficiencias nutricionales en café*. <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/cafe/deficiencias-cafe/deficiencia-de-zinc-cafe/>

Zamora Llanos Eddy Santiago (2024) *Efecto de varias fuentes de sustratos sobre la etapa de germinación y crecimiento de las plántulas de cacao (Theobroma cacao L.)*. Jipijapa-Unesum. Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura. 89 Pg. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/6801/1/Zamora%20Llanos%20Eddy%20Santiago.pdf>

9. Anexos

Anexo 1. Datos porcentaje de germinación. (Archivo personal)

PORCENTAJE DE GERMINACION			
TRATAMIENTOS	Número de plantas emergidas	Número de plantas por tratamiento	%G
T1	63	75	84
T2	61	75	81.3333333

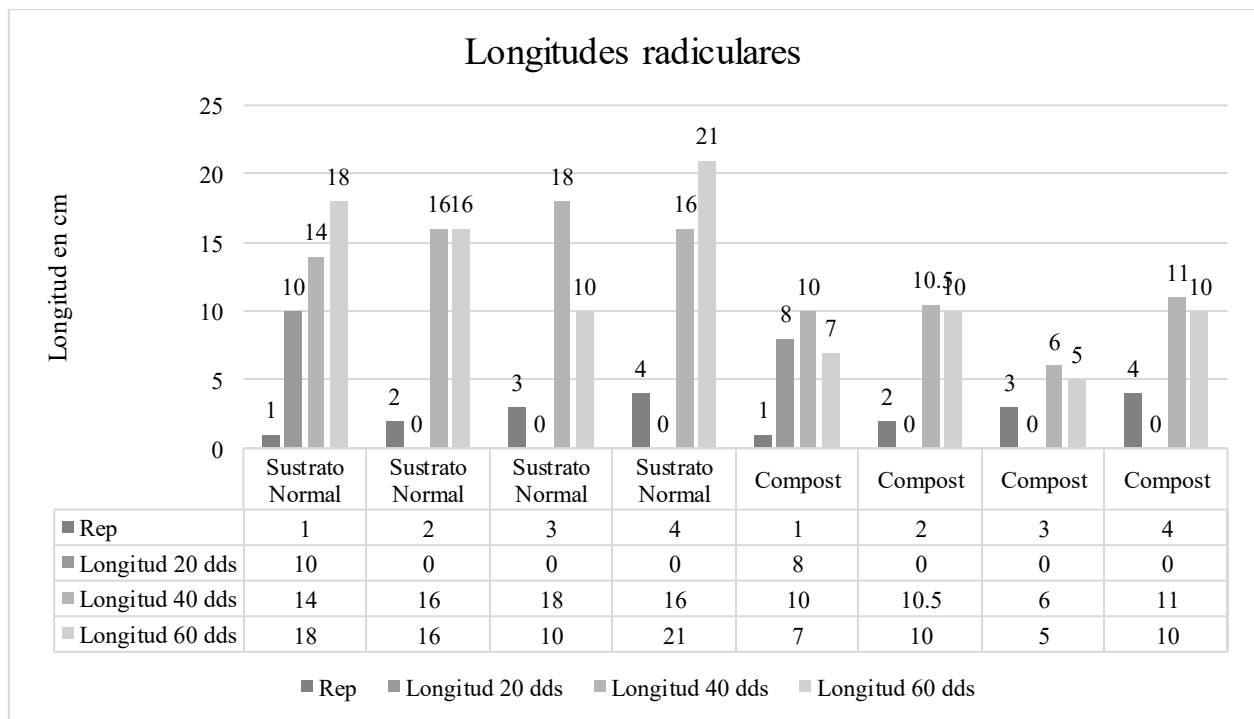
Anexo 2. Formato recolección de datos para variables morfológicas. (Archivo personal)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Tratamiento	Rep	Altura 20dd	Diámetro 20d	N° hojas 20 dd	Altura 40 dd	Diámetro 40 dd	N° Hojas 40 dd	Altura 60 dd	Diámetro 60 dd	N° hojas 60 dds	
2	Sustrato Normal	1	11.0	0.3	3	14	0.4	7	18	0.5	9	
3	Sustrato Normal	2	15.0	0.3	4	21	0.5	8	22	0.5	12	
4	Sustrato Normal	3	13.0	0.3	4	17	0.5	7	25	0.5	10	
5	Sustrato Normal	4	13.0	0.2	4	18	0.48	7	24	0.5	12	
6	Sustrato Normal	5	13.0	0.4	3	21.5	0.5	9	23.5	0.6	12	
7	Sustrato Normal	6	14.0	0.3	4	20	0.5	7	24	0.5	10	
8	Sustrato Normal	7	12.0	0.3	4	18.5	0.5	8	26	0.5	10	
9	Sustrato Normal	8	13.0	0.3	4	18	0.4	7	24.5	0.5	9	
10	Sustrato Normal	9	13.0	0.3	4	16.5	0.5	8	23	0.5	11	
11	Sustrato Normal	10	14.5	0.3	4	20	0.5	9	28.5	0.54	12	
12	Sustrato Normal	11	15.0	0.3	4	20	0.4	8	27	0.5	12	
13	Sustrato Normal	12	16.0	0.3	4	20	0.5	9	26	0.5	11	
14	Sustrato Normal	13	14.0	0.31	4	20	0.5	8	24	0.5	9	
15	Sustrato Normal	14	16.0	0.32	4	24	0.5	8	34	0.6	14	
16	Sustrato Normal	15	12.0	0.32	4	15	0.5	8	26	0.5	13	
17	Sustrato Normal	16	13.0	0.3	4	18	0.5	9	25	0.5	10	
18	Sustrato Normal	17	13.0	0.3	4	17	0.4	8	24	0.5	12	
19	Sustrato Normal	18	16.0	0.3	4	21	0.5	8	28	0.5	13	
20	Sustrato Normal	19	12.0	0.3	3	20.5	0.5	7	29	0.5	12	
21	Sustrato Normal	20	15.5	0.3	4	18	0.45	7	22	0.5	10	
22	Compost	1	18.0	0.3	3	19	0.4	6	21	0.5	12	
23	Compost	2	13.0	0.3	3	16	0.4	8	13	0.6	6	
24	Compost	3	15.0	0.3	3	19	0.45	8	21	0.6	10	
25	Compost	4	13.0	0.3	4	16	0.4	7	16.5	0.5	5	
26	Compost	5	12.5	0.3	3	19	0.5	5	22	0.5	8	
27	Compost	6	12.3	0.3	4	15	0.35	7	15	0.6	8	
28	Compost	7	11.3	0.3	4	14	0.35	6	15.5	0.4	9	
29	Compost	8	13.5	0.3	3	16.7	0.35	7	18	0.6	9	
30	Compost	9	11.0	0.33	4	15	0.34	3	12	0.5	2	
31	Compost	10	17.6	0.3	4	19	0.5	8	21	0.6	9	
32	Compost	11	10.0	0.3	4	17	0.4	8	0	0	0	
33	Compost	12	17.0	0.32	4	21	0.5	8	23	0.6	4	
34	Compost	13	10.0	0.32	3	18	0.45	8	22	0.5	11	
35	Compost	14	14.0	0.35	4	16	0.45	7	16	0.5	2	
36	Compost	15	16.0	0.35	4	18	0.4	7	20	0.5	9	
37	Compost	16	14.5	0.3	4	16	0.4	8	20	0.5	10	
38	Compost	17	11.0	0.3	4	14	0.45	6	12	0.5	4	
39	Compost	18	15.0	0.3	4	18	0.5	8	19.5	0.6	6	
40	Compost	19	10.0	0.3	4	14	0.4	6	11	0.4	5	
41	Compost	20	16.0	0.4	3	20	0.5	8	23	0.6	10	

Anexo 3. Datos longitud de raíz. (*Archivo personal*)

Tratamiento	rep	Longitud 20 dds	Longitud 40 dds	Longitud 60 dds
Sustrato Normal	1	10	14	18
Sustrato Normal	2	0	16	16
Sustrato Normal	3	0	18	10
Sustrato Normal	4	0	16	21
Compost	1	8	10	7
Compost	2	0	10.5	10
Compost	3	0	6	5
Compost	4	0	11	10

Anexo 4. Datos de longitud de raíz a los 20,40 y 60 dds. (*Archivo personal*)

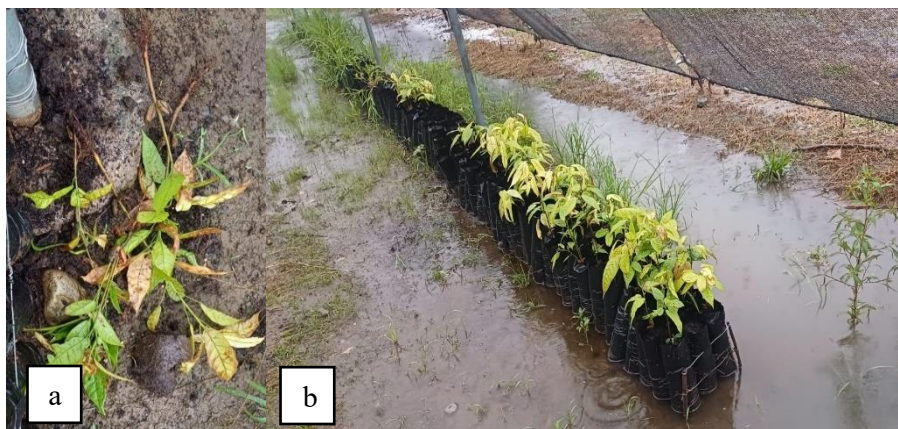


Anexo 5. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes. (*Archivo personal*)

Variable	Grupo 1	Grupo 2	n (1)	n (2)	Media (1)	Media (2)	DE (1)	DE (2)	Mediana (1)	Mediana (2)	R- Media (1)	R- Media (2)	W	p (2 colas)
Altura 20 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	13,54	13,70	2,56	1,50	13,25	13,00	19,93	21,08	398,50	0,7539
Diametro 20 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	0,31	0,30	0,03	0,03	0,30	0,30	22,08	18,93	441,50	0,2784
Nº de hojas 20 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	3,65	3,85	0,49	0,37	4,00	4,00	18,50	22,50	370,00	0,1492
Altura 40 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	17,04	18,90	2,09	2,36	16,85	19,25	16,00	25,00	320,00	0,0143
Diametro 40 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	0,42	0,49	0,06	0,04	0,40	0,50	15,35	25,65	307,00	0,0028
Nº de hojas 40 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	6,95	7,85	1,32	0,75	7,00	8,00	16,55	24,45	331,00	0,0228
Altura 60 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	17,08	25,49	5,59	3,37	18,75	25,00	11,38	29,63	227,50	<0,001
Diametro 60 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	0,51	0,51	0,14	0,03	0,50	0,50	21,93	19,08	438,50	0,3602
Nº de hojas 60 dds	Compost	Sustrato normal	20	20	6,95	11,18	3,35	1,46	8,00	11,50	12,75	28,25	255,00	<0,001

Nota: p (2 colas) = valor bilateral, se presenta diferencia significativa cuando el valor $p = < 0.05$

Anexo 6. (a) Perdida de plantas de T2 por *Phytophthora* spp, **(b)** Encharcamiento por exceso de lluvias. (*Archivo personal*)



Anexo 7. Desarrollo morfológico T1 al inicio y final (a) plantas a los 20 dds y **(b)** plantas de cacao 60 dds. (*Archivo personal*)



Anexo 8. Semillas sin emergencia, afectadas por hongos. (*Archivo personal*)



Anexo 9. Toma de longitud de raíz a los 20 dds.
(*Archivo personal*)



Anexo 10. Altura de plántula en T1 y T2 (20 dds).
(*Archivo personal*)



Anexo 11. Diámetro de tallo en T1 y T2 (20 dds).
(*Archivo personal*)



Anexo 12. Llenado de bolsas. (*Archivo personal*)



Anexo 13. Proceso ubicación de eras Tratamiento 2. (*Archivo personal*)



Anexo 14. Proceso de siembra. (*Archivo personal*)

