

Evaluación del desarrollo vegetativo de plantas de cacao (*Theobroma cacao L*) sometidas a diferentes tipos de sustratos

Jhonatan Cortes Ávila

Laura Melissa Torres

Asesor

Francisco José Montealegre Torres

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Agronomía

2024

Dedicatoria

Este trabajo de grado está dedicado a todas aquellas personas que han sido parte fundamental en nuestro camino académico y personal. A nuestros padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios que han hecho posible nuestra educación. Su ejemplo de dedicación y perseverancia siempre será mi mayor inspiración.

A mis profesores y tutores, por su orientación, conocimiento compartido y por desafiarme a alcanzar mi máximo potencial. Cada enseñanza recibida ha contribuido a mi crecimiento académico y profesional. A mis amigos y seres queridos, por su aliento, comprensión y por estar a mi lado en los momentos más difíciles. Su amistad y apoyo han sido un pilar fundamental durante este proceso.

Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de este Proceso. Este logro también es suyo.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por brindarme esta gran oportunidad de poder alcanzar los objetivos propuestos en esta etapa académica. Al director de tesis, Francisco José Montealegre Torres, por su orientación experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proyecto. Sus consejos y comentarios fueron fundamentales para dar forma a este trabajo y alcanzar los objetivos propuestos.

Agradezco sinceramente a todos los profesores y académicos de la Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente (ECAPMA), por su contribución a mi formación académica y por brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo.

Mis compañeros de clase y amigos también merecen un agradecimiento especial. Su apoyo, motivación y colaboración fueron fundamentales para superar los desafíos que surgieron durante el desarrollo de esta investigación.

No puedo dejar de mencionar el apoyo incondicional de mi familia y a mis hermanos, les agradezco por su amor, comprensión y por estar siempre presentes en cada etapa de mi vida académica.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Resumen

El objetivo del presente proyecto de investigación fue realizar un seguimiento detallado del desarrollo y crecimiento vegetativo de las plantas de cacao en vivero, empleando diferentes sustratos, con el propósito de evaluar su eficacia en condiciones homogéneas. Se implementó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos representados por distintos sustratos, cada uno con cuatro repeticiones. Se efectuaron mediciones periódicas del crecimiento vegetativo y radicular durante un período de 63 días, registrando variables como longitud, diámetro del tallo, número de hojas y longitud de la raíz. Los resultados obtenidos permitieron identificar el sustrato más idóneo para el crecimiento y desarrollo de las plántulas de cacao en la zona de estudio. La carencia de acceso a información sobre sustratos apropiados y técnicas de manejo, ha restringido la productividad del cultivo de cacao y, por ende, esta investigación contribuye significativamente a mejorar la producción y sostenibilidad económica de las familias campesinas en la región.

Palabras clave: Productividad, Suelo, Vigor, Calidad, Cacaocultores, Plantas de cacao.

Abstract

The objective of this research project was to carry out detailed monitoring of the development and vegetative growth of cocoa plants in the nursery, using different substrates, with the purpose of evaluating their effectiveness under homogeneous conditions. A completely randomized block experimental design was implemented, with four treatments represented by different substrates, each with four repetitions. Periodic measurements of vegetative and root growth were made over a period of 63 days, recording variables such as length, stem diameter, number of leaves and root length. The results obtained allowed us to identify the most suitable substrate for the growth and development of cocoa seedlings in the study area. The lack of access to information on appropriate substrates and management techniques has restricted the productivity of cocoa cultivation, and therefore, this research contributes significantly to improving the production and economic sustainability of peasant families in the region.

Keywords: Productivity, Soil, Vigor, Quality, Cocoa growers, Cocoa plants.

Tabla de Contenido

Introducción	12
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
Planteamiento del Problema	15
Justificación	16
Marco Teórico.....	17
Descripción de la Especie	19
Árbol.....	19
Hojas.....	20
Flores	21
Frutos.....	21
Semillas	22
Fenología del Cacao	23
Germinación y brotación	23
Establecimiento y crecimiento vegetativo.....	23
Floración.....	24
Desarrollo de frutos	24
Maduración de frutos.....	24
Propiedades de los sustratos	24
Metodología	26
Área de Estudio	26

Diseño Experimental	27
Tratamientos evaluados	28
Distribución de los tratamientos	29
Crecimiento vegetativo y de raíz de las plántulas de cacao en los diferentes tipos de sustratos en vivero	30
Sustrato más adecuado para plantas de cacao en vivero	31
Programa R	31
Hipótesis.....	32
Variables evaluadas.....	32
Análisis Variable Longitud del Tallo (cm)	33
Análisis Variable Diámetro del Tallo (mm).....	35
Análisis Variable Número de Hojas.....	36
Análisis Variable Longitud de la Raíz (cm).....	38
Análisis de Hipótesis.....	39
Conclusiones	40
Recomendaciones	41
Referencias.....	42
Apéndices.....	44

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Taxonomía de cacao</i>	19
Tabla 2 <i>Ubicación geográfica y características agroecológicas</i>	25
Tabla 3 <i>Ubicación geográfica</i>	26
Tabla 4 <i>Tratamientos</i>	29

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Árbol de cacao</i>	20
Figura 2 <i>Hojas planta de cacao</i>	20
Figura 3 <i>Flores cacao</i>	21
Figura 4 <i>Fruto del cacao</i>	22
Figura 5 <i>Semilla del cacao</i>	23
Figura 6 <i>Imagen satelital vivero los ángeles</i>	26
Figura 7 <i>Imagen satelital, ubicación vivero los ángeles en el municipio del Espinal, Tolima</i>	27
Figura 8 <i>Sustratos evaluados</i>	28
Figura 9 <i>Distribución de los bloques y tratamientos en el vivero</i>	30
Figura 10 <i>Grafico longitud del tallo (cm)</i>	33
Figura 11 <i>Test de tukey variable longitud del tallo</i>	34
Figura 12 <i>Grafico diámetro del tallo (mm)</i>	35
Figura 13 <i>Test de tukey variable Diámetro del tallo</i>	36
Figura 14 <i>Grafico número de hojas</i>	37
Figura 15 <i>Test de tukey variable numero de hojas</i>	37
Figura 16 <i>Grafico longitud de la raíz (cm)</i>	38
Figura 17 <i>Test de tukey variable longitud de la raíz</i>	39
Figura 18 <i>Anova en el programa R de los datos</i>	39

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Desarrollo de tallo y hojas plantas de cacao en vivero</i>	44
Apéndice B <i>Montaje del vivero</i>	45

Introducción

Según López et al. (2020), *Theobroma cacao L.* es una especie originaria de la Amazonía suramericana, cuyo origen geográfico se sitúa dentro de una vasta región compartida entre lo que actualmente es Ecuador, Colombia y Perú. A pesar de su origen suramericano, fue en Centro América donde los colonizadores europeos descubrieron los usos del fruto y su posterior aprovechamiento como bebida de consumo.

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una planta de gran importancia económica y cultural en muchas regiones tropicales alrededor del mundo. “La importancia social del cacao en Colombia es significativa, con más de 65,000 familias cultivando cacao, a menudo en sistemas agroforestales. También brinda una oportunidad vital para que los agricultores optimicen el uso de su tierra mientras protegen sus recursos” (AGROSAVIA, 2023). Por otro lado, es importante resaltar que “la introducción de sistemas agroforestales en las plantaciones de cacao no solo puede aumentar el rendimiento del cultivo, sino también mejorar el suelo, controlar la erosión e incrementar la captura de carbono, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático” (Requejo & Parizat, 2021). Sus granos son la materia prima para la producción de chocolate, un producto ampliamente consumido y valorado a nivel global. Sin embargo, el cultivo del cacao enfrenta diversos desafíos, incluyendo problemas relacionados con la calidad del suelo y el manejo agronómico.

El sustrato utilizado en el cultivo de cacao juega un papel crucial en el desarrollo vegetativo y la productividad de las plantas, en este estudio del desarrollo vegetativo de plantas de cacao sometidas a diferentes tipos de sustratos es fundamental para comprender cómo estos afectan el crecimiento, la salud y la producción de la planta. Además, entender cómo los

diferentes sustratos interactúan con el sistema radicular del cacao y su microbiota es crucial para desarrollar prácticas agronómicas sostenibles y eficientes.

En este estudio, se evaluó el desarrollo vegetativo de plantas de cacao cultivadas en diferentes tipos de sustratos, se analizarán parámetros como el crecimiento foliar (número de hojas), el desarrollo radicular (longitud de la raíz) y desarrollo del tallo (longitud y diámetro).

Los resultados de este estudio proporcionaron información valiosa para los agricultores y científicos interesados en mejorar las prácticas de cultivo de cacao, especialmente en áreas donde la disponibilidad de suelos adecuados es limitada o donde se buscan alternativas más sostenibles para el cultivo de esta importante planta.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el comportamiento de variables vegetativas en cacao (*Theobroma cacao L.*), sometidas a diferentes tipos de sustratos.

Objetivos Específicos

Analizar el crecimiento vegetativo y radicular de las plántulas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en diferentes tipos de sustratos en condiciones homogéneas en el vivero.

Identificar el sustrato más adecuado para plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en vivero.

Analizar los datos estadísticos de las variables.

Planteamiento del Problema

La carencia de información sobre la selección y manejo de sustratos constituye un desafío significativo para los agricultores de cacao, tal como se evidencia en la Guía Técnica del Cultivo de Cacao en Colombia de FEDECACAO (2021), lo que afecta negativamente la eficacia y productividad del cultivo.

La calidad del sustrato en viveros de plantas de cacao es determinante para optimizar el rendimiento agrícola. Según Moreno (2020), la selección adecuada de sustratos durante la germinación y el desarrollo vegetativo es esencial para garantizar la calidad de las plantas y aumentar la productividad. No obstante, el uso de sustratos inapropiados puede resultar en prácticas agrícolas ineficientes y una menor supervivencia de las plántulas de cacao. Por consiguiente, surgió el interrogante: ¿Cuál sustrato es óptimo para las plantas de cacao en vivero?

La carencia de información sobre la selección y manejo de sustratos constituye un desafío significativo para los agricultores de cacao, tal como se evidencia en la Guía Técnica del Cultivo de Cacao en Colombia de FEDECACAO (2021), lo que afecta negativamente la eficacia y productividad del cultivo.

Justificación

Según FEDECACAO (2021), el cacao es una especie de planta originaria y adaptada al clima tropical. En cuanto a la altitud, el cacao se adapta bien desde el nivel del mar hasta los 900 metros, el cacao se desarrolla en forma óptima donde la temperatura se mantiene entre los 22 grados y los 30 grados centígrados, “requiere suelos bien drenados y fertilidad moderada. La aplicación de materia orgánica en forma de compost y estiércol de ganado, así como la utilización de sustratos como la arena y la perlita, pueden mejorar la productividad del cultivo” (Ramos & Tarquino, 2016).

Según AGRONET (2022), los principales departamentos productores son: Santander, Antioquia, Arauca, Huila y Tolima, el área sembrada en cacao en todo el país, en el año 2022, fue de 229.974 hectáreas, la producción en todo el país fue de 136.317 toneladas y un rendimiento promedio anual a nivel nacional, de 590 kilogramos por hectárea. Según estadísticas de AGRONET (2022), el departamento del Tolima, en el año 2022, tuvo 10.801 hectáreas en cultivo de cacao, registro una producción de 6.433 toneladas en el año 2022, además tuvo un rendimiento promedio de 600 kilogramos por hectárea, siendo este cultivo de gran importancia económica para el departamento del Tolima y también del país, debido a su producción, rentabilidad y el bienestar que le ofrece a miles de familias campesinas colombianas. El propósito de esta investigación radica en asegurar la selección de un sustrato adecuado que favorezca el óptimo desarrollo de las plántulas de cacao en vivero. Este enfoque garantizará que las plantas cuenten con las condiciones óptimas para su crecimiento y fortaleza, facilitando su posterior trasplante al campo. De esta manera, se busca proporcionar a los cultivadores la confianza necesaria para alcanzar niveles superiores de productividad en sus cultivos de cacao.

Marco Teórico

Según Osorio, Leiva y Ramírez (2017) el tamaño de la bolsa donde se siembra las plántulas de cacao influye en el crecimiento y desarrollo de estas, lo que a su vez influencia la supervivencia y la productividad. Por lo tanto, el sustrato utilizado en los recipientes debe ser adecuado para obtener plántulas de calidad. “El desarrollo del cacao en el vivero depende en gran medida de la calidad del sustrato utilizado, por lo que es importante evaluar su composición y determinar las características que mejor se ajusten a las necesidades del cultivo” (Cahuana, 2021)

Según Vargas, Santa y Lizárraga (2020), el tipo de sustrato influye de forma directa en la obtención de buenas plantas de cacao, frente a la dimensión de envase. Es importante resaltar que “el efecto del espacio de crecimiento radicular y el volumen de sustrato en el crecimiento de plantas de cacao en vivero. Se encontró que el crecimiento de las plántulas de cacao se vio significativamente afectado con la reducción del espacio y volumen donde se desarrolla la raíz en etapa de vivero” (Gutiérrez et al., 2011).

También, Moreno (2020), señala que los sustratos para germinación y desarrollo vegetativo del cacao deben tener una textura suave, capacidad de retención de humedad, igualdad en la humedad y permitir la aireación. Además, la guía técnica de FEDECACAO (2021) destaca la importancia de seleccionar sustratos que favorezcan el desarrollo saludable de las plantas de cacao y permitan la absorción eficiente de nutrientes. Es de vital importancia el uso de sustratos adecuados en el cultivo de cacao para la supervivencia y productividad de este, y obtener plantas sanas, fuertes y de calidad.

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una especie de árbol que pertenece a la familia Malvaceae, nativa de América Central y América del Sur. Es un cultivo importante en varios

países tropicales, debido a su producción de granos de cacao, los cuales se utilizan para la producción de chocolate y otros productos relacionados.

El cacao es un árbol perenne, que puede crecer hasta una altura de 4-8 metros y puede vivir hasta 50 años. La especie presenta raíces fasciculadas que se extienden horizontalmente, lo que ayuda a la absorción de nutrientes y agua del suelo. Los tallos, ramas y hojas son de color verde oscuro, y presentan una textura leñosa con el tiempo.

Las hojas del cacao son simples, alternas, con forma ovalada y miden entre 10-40 cm de largo y 5-15 cm de ancho. Están dotadas de una nervadura central prominente con múltiples nervaduras secundarias que divergen hacia los bordes. Las flores surgen directamente del tronco y las ramas principales, son pequeñas y hermafroditas, presentando un color amarillo-verdoso. La polinización de las flores es realizada por insectos y su fructificación es en forma de una estructura cápsula llamada "mazorca" que contiene una gran cantidad de semillas.

El grano del cacao maduro es el principal producto obtenido en el cultivo de cacao y es la base para la producción de chocolate de alta calidad. El grano contiene una mezcla compleja de compuestos bioactivos, incluyendo ácidos grasos, alcaloides, flavonoides, entre otros. Estos compuestos le confieren al cacao su sabor único y sus propiedades benéficas para la salud.

Según Moreno (2020), para la germinación y desarrollo vegetativo del cacao, se recomienda utilizar sustratos específicos. Por otro lado, en la guía técnica del cultivo de cacao en Colombia de FEDECACAO (2021) se menciona la importancia de la selección adecuada de la semilla para garantizar una buena producción.

En cuanto a la fenología del cacao, Osorio et al. (2017) informan que el uso de diferentes contenedores en la fase de plántulas puede influir en su crecimiento y desarrollo. Estos autores sugieren que un contenedor de 500 ml es suficiente para la elaboración de plántulas de calidad.

Tabla 1

Taxonomía de Cacao

Reino	<i>Plantae</i>	Orden	Malvales
División	<i>Magnoliophyta</i>	Familia	<i>Malvaceae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>	SubFamilia	<i>Byttnerioideae</i>
Subclase	<i>Dilleniidae</i>	Género	<i>Theobroma</i>
		Especie	<i>Theobroma cacao L</i>

Fuente. Osorio et al. (2017)

Descripción de la Especie

El cacao es el nombre común de la planta (*Theobroma cacao L.*), que pertenece a la familia Malvaceae. Es un árbol perenne que es nativo de la región tropical de América Central y del Sur, aunque ahora se cultiva en muchas otras partes del mundo con climas tropicales. El cacao es conocido principalmente por ser el ingrediente principal en la producción de chocolate (Alcides, 2022).

Árbol

El cacao es un árbol de hoja perenne que puede crecer hasta una altura de 4 a 8 metros, aunque en condiciones óptimas puede alcanzar alturas mayores. Tiene un tronco corto y ramificado con una corteza lisa y de color grisáceo.

Figura 1*Árbol de Cacao*

Fuente. Autores

Hojas

Las hojas del cacao son grandes, ovaladas y de color verde oscuro. Son alternas y tienen un ápice agudo. Las hojas jóvenes suelen tener un tono rojizo o morado.

Figura 2*Hojas planta de cacao*

Fuente. FEDECACAO (2021)

Flores

Las flores del cacao son pequeñas y de color blanco o rosado. Crecen directamente en el tronco y las ramas más grandes del árbol. Tienen una estructura peculiar, con cinco pétalos y numerosos estambres.

Figura 3

Flores de cacao



Fuente. FEDECACAO (2021)

Frutos

Los frutos del cacao son grandes cápsulas o vainas que contienen las semillas de cacao. Estas vainas tienen una forma alargada y pueden alcanzar una longitud de 15 a 30 centímetros. Cuando están maduras, cambian de verde a amarillo, naranja o rojo, dependiendo de la variedad. Cada vaina contiene una pulpa blanca y dulce, así como de 20 a 50 semillas de cacao.

Figura 4*Fruto del cacao*

Fuente. Autores

Semillas

Las semillas de cacao, también conocidas como granos de cacao, son las partes más utilizadas de la planta en la producción de chocolate. Están rodeadas por una pulpa blanca que se fermenta y luego se retira durante el proceso de producción. Las semillas se secan y se tuestan antes de ser molidas para producir pasta de cacao, que es el ingrediente base para hacer chocolate.

Figura 5*Semilla del cacao*

Fuente. Autores

Fenología del Cacao***Germinación y brotación***

Comienza con la germinación de la semilla de cacao, que generalmente se realiza en viveros especializados. Las semillas germinan en condiciones cálidas y húmedas, y luego se trasplantan a campos de cultivo. Las plántulas emergen de la tierra y comienzan a desarrollar hojas y raíces.

Establecimiento y crecimiento vegetativo

Durante esta etapa, las plántulas de cacao se establecen en el campo y comienzan a crecer activamente. Se desarrollan nuevas hojas y ramas, y las plantas establecen un sistema de raíces fuerte para absorber nutrientes y agua del suelo.

Floración

La etapa de floración es crucial para la producción de frutos de cacao. Los árboles de cacao comienzan a producir flores en racimos directamente en el tronco y las ramas principales. Las flores son pequeñas y tienen un corto período de floración. Durante esta etapa, la polinización ocurre principalmente a través de insectos como los mosquitos y las abejas.

Desarrollo de frutos

Después de la polinización, las flores de cacao comienzan a desarrollarse en frutos. Las mazorcas de cacao comienzan a crecer y alcanzan su tamaño máximo en un período de varios meses. Durante este tiempo, la pulpa que rodea las semillas de cacao se desarrolla y madura, y las semillas dentro de las mazorcas se vuelven más grandes.

Maduración de frutos

Las mazorcas de cacao maduran en un proceso que puede durar de cuatro a seis meses, dependiendo de las condiciones climáticas y del cultivo. Durante este tiempo, las mazorcas cambian de color y se vuelven amarillas, naranjas o rojas, dependiendo de la variedad. Las semillas de cacao dentro de las mazorcas también alcanzan su madurez, y están listas para ser cosechadas y procesadas para producir chocolate.

Propiedades de los sustratos

Los sustratos juegan un papel crucial en el desarrollo del cacao en vivero. El suelo limoso retiene agua, la cascarilla de arroz fortalece las plantas, la ceniza de cascarilla de arroz aporta nutrientes, y la arena de río mejora el drenaje. La combinación de estos sustratos garantiza un crecimiento saludable y mayor productividad en los cultivos de cacao.

Tabla 2*Propiedades de los componentes de los sustratos*

Sustratos	Propiedades
Suelo limoso	Es un tipo de suelo que tiene una textura intermedia entre el suelo arcilloso y el suelo arenoso. Está compuesto principalmente por partículas de tamaño medio, lo que le confiere ciertas propiedades únicas, capacidad de retención de agua y fertilidad.
Cascarilla de arroz	La cascarilla de arroz contiene una alta proporción de sílice, que es un mineral esencial para el crecimiento y la salud de las plantas. La sílice presente en la cascarilla de arroz puede ser beneficiosa para mejorar la resistencia de las plantas a enfermedades y plagas, así como para fortalecer sus estructuras.
Ceniza de cascarilla de arroz	También conocida como ceniza de paja de arroz o ceniza de cáscara de arroz, es el residuo que queda después de quemar la cascarilla de arroz. Esta ceniza es un subproducto de la incineración de la cascarilla de arroz y contiene una variedad de compuestos minerales y orgánicos.
Arena de río	Ayuda a prevenir el desarrollo de enfermedades relacionadas con el suelo, como la pudrición de la raíz, al mejorar el drenaje y la aireación del suelo. Un suelo bien drenado y aireado es menos propenso a retener el exceso de humedad, lo que reduce las condiciones favorables para el crecimiento de patógenos del suelo.

Fuente. FEDECACAO (2021)

Metodología

Área de Estudio

Tabla 3

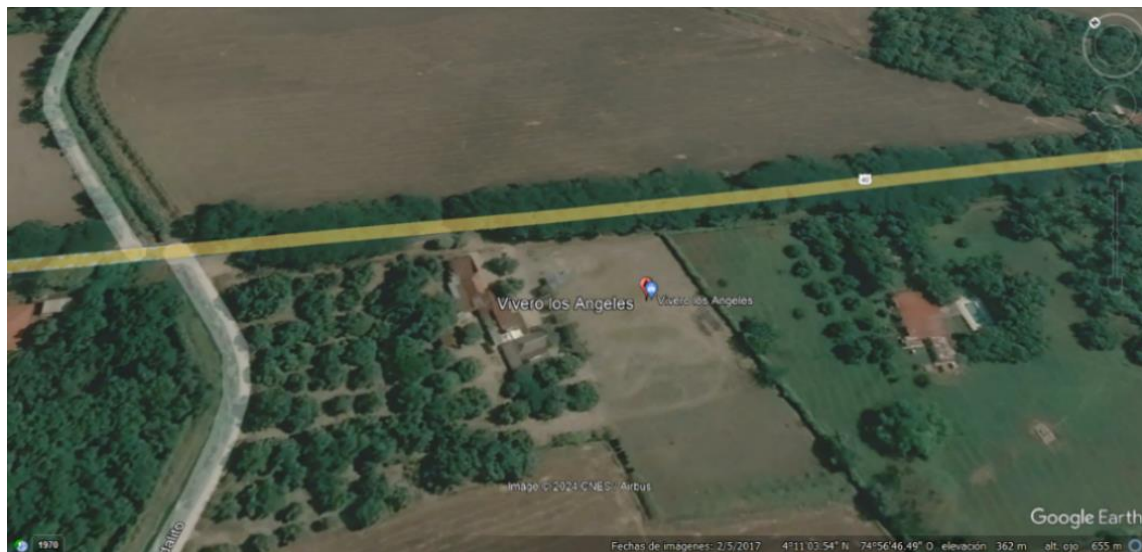
Ubicación Geográfica

<i>Localidad</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Vivero</i>
Corregimiento Chicoral, Municipio Espinal, Departamento del Tolima	Cacao	Los angeles

Fuente. Autores

Figura 6

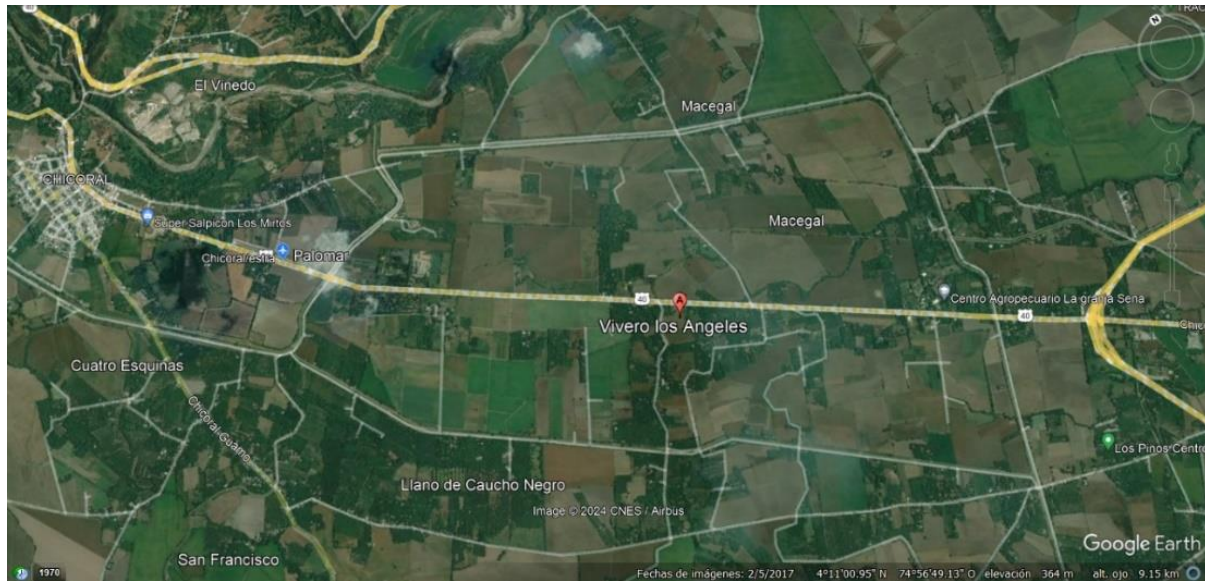
Imagen satelital vivero Los Ángeles



Fuente. Google Earth (2023)

Figura 7

Imagen satelital, ubicación vivero Los Angeles en el municipio del Espinal - Tolima



Fuente. Google Earth (2023)

Diseño Experimental

Se realizó un diseño de bloques completamente al azar, donde se implementaron 4 bloques, cada bloque con 20 plantas de cada tratamiento y un total de 80 plantas por bloque, en total en los 4 bloques se evaluaron 320 plantas, se utilizó una bolsa plástica de 14cm de ancho por 27cm de alto, se usó una semilla de patronaje de cacao variedad IMC67, la cual se obtuvo en un huerto clonal de variedades de cacao, en el municipio de Alvarado Tolima, en la vereda el convenio, finca la Esmeralda, se realizó un manejo igual a todas las plantas de los distintos tratamientos, donde se aplicó un fertilizante de fórmula 10-50-10, en drench con el fin de ofrecer los nutrientes básicos para el desarrollo de las plantas en vivero, 5 gramos por cada litro de agua, se aplicaban 250ml por planta, se aplicó cada 15 días.

Tratamientos evaluados

Los sustratos se midieron por partes, es decir que para el tratamiento 3, que es 33% arena y 67% suelo negro con textura limosa, sería un parte arena y dos de suelo negro con textura limosa.

Figura 8

Sustratos evaluados



Fuente. Autores

Tabla 4*Tratamientos*

Tratamientos	Descripción	Porcentajes
Testigo (T)	Sustrato solo suelo negro con textura limosa, bolsa plástica de 14cm de ancho por 27cm de alto.	100% suelo limoso
Tratamiento 1 (T1)	Sustrato dos partes suelo negro con textura limosa, una de cascarilla de arroz y una de Ceniza de cascarilla de arroz, bolsa plástica de 14cm de ancho por 27cm de alto.	50% suelo negro con textura limosa. 25% Cascarilla de arroz 25% Ceniza de cascarilla de arroz.
Tratamiento 2 (T2)	Sustrato dos partes de suelo negro con textura limosa y una cascarilla de arroz, bolsa plástica de 14cm de ancho por 27cm de alto.	67% suelo negro con textura limosa 33% Cascarilla de arroz
Tratamiento 3 (T3)	Sustrato dos partes de suelo negro con textura limosa y una de arena de río, bolsa plástica de 14cm de ancho por 27cm de alto.	67% suelo negro con textura limosa 33% Arena de río.

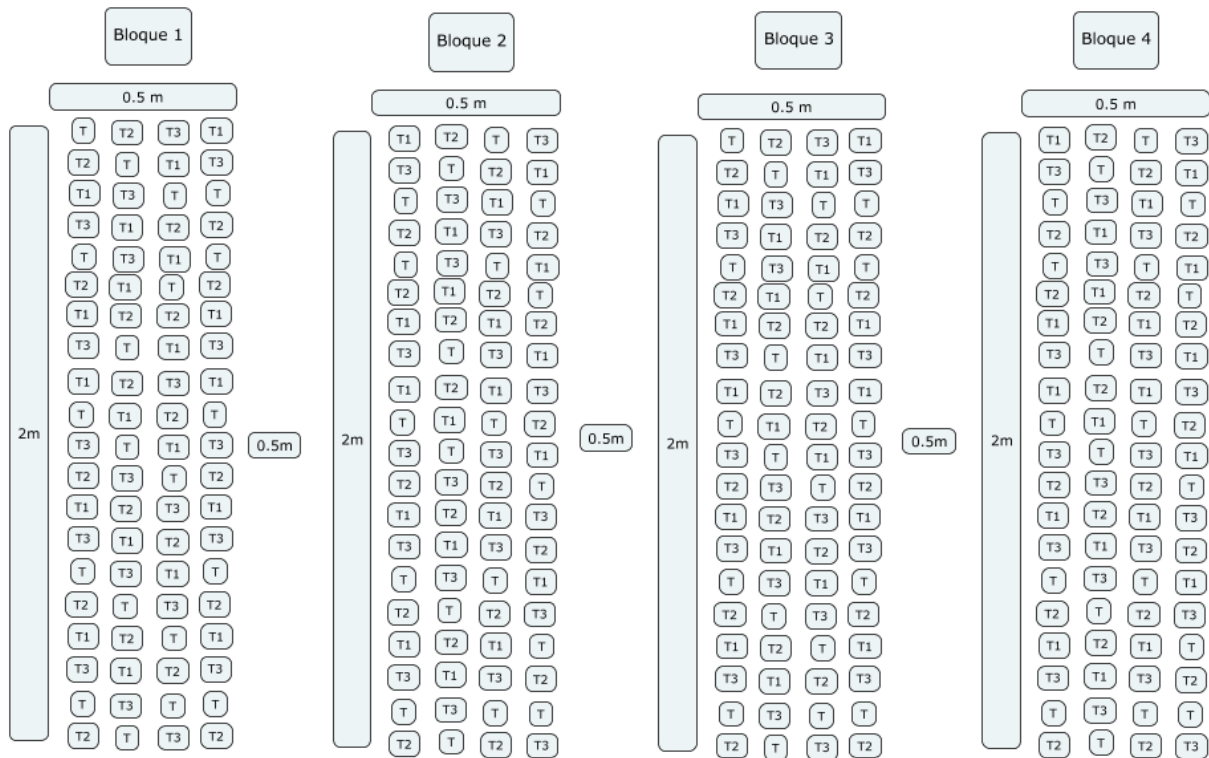
Fuente. Autores

Distribución de los tratamientos

La siguiente imagen ilustra la distribución que tuvieron las unidades experimentales en el vivero, la cual fue una distribución totalmente al azar, de los tratamientos en los 4 bloques.

Figura 9

Distribución de los bloques y tratamientos en el vivero



Fuente. Autores

Crecimiento vegetativo y de raíz de las plántulas de cacao en los diferentes tipos de sustratos en vivero

Se seleccionó 5 plantas al azar del Testigo (T), Tratamiento 1, 2, y 3 que se evaluaron, esto equivale a 20 plantas por bloque, 5 plantas por tratamiento, en total en cada muestreo en todos los bloques un total de 20 plantas por tratamiento y en total de todos los tratamiento y bloques 80 plantas por evaluación, se realizó una evaluación a las plantas de cacao en vivero cada 15 días, donde se midió con una regla la longitud (cm), longitud (cm) de la raíz, se contó el número de hojas por planta y se midió con un pie de rey el diámetro (mm) del tallo, al finalizar

las evaluaciones en el día 60, se realizó el análisis de datos, mediante estadística descriptiva y se realizó análisis grafico de los datos, realizando comparaciones de los rendimientos.

Sustrato más adecuado para plantas de cacao en vivero

Los seguimientos realizados a los 60 días, con los resultados que se obtuvieron en los distintos tratamientos se realizó un análisis, mediante estadística descriptiva, con el fin de obtener las medias de los datos de cada variable evaluada, se realizó la comparación de medias del rendimiento de los tratamientos, de manera gráfica, para poder identificar cuál tratamiento tiene un desarrollo superior de las variables vegetativas evaluadas.

Programa R

El programa R es un lenguaje de programación y software estadístico utilizado en todo el mundo para análisis y visualización de datos. Es un software libre y gratuito que permite a los usuarios realizar una amplia gama de análisis estadísticos, desde los más básicos hasta los modelos más complejos. En términos de capacidades, R es extremadamente poderoso y flexible y proporciona una amplia gama de herramientas y paquetes para análisis de datos, análisis estadístico, gráficos y visualización de datos. Además, como tiene una gran comunidad de usuarios, hay muchos paquetes adicionales disponibles para hacer cosas más especializadas. R también es muy popular debido a su capacidad para crear visualizaciones de datos de alta calidad y personalizables. Estos gráficos pueden incluir desde gráficos básicos, histogramas, diagramas de caja y gráficos de dispersión hasta gráficos mucho más complejos y técnicos como mapas, gráficos de redes y gráficos de árboles.

Hipótesis

Hipótesis para tratamientos:

H_0 = Los tratamientos T, T1, T2 y T3, se comportan igual y no se presentan diferencias significativas.

H_a = Al menos un tratamiento presenta diferencias significativas o se comporta diferente a los demás.

Variables evaluadas

Longitud del tallo: se midió la longitud del tallo en cm con una regla, a las plantas evaluadas.

Diámetro del tallo: se midió los mm del tallo de las plantas evaluadas, con un pie de rey.

Número de hojas: se contó el número de hojas de las plantas evaluadas.

Longitud de la raíz: se midió la longitud de la raíz en cm con una regla, a las plantas evaluadas.

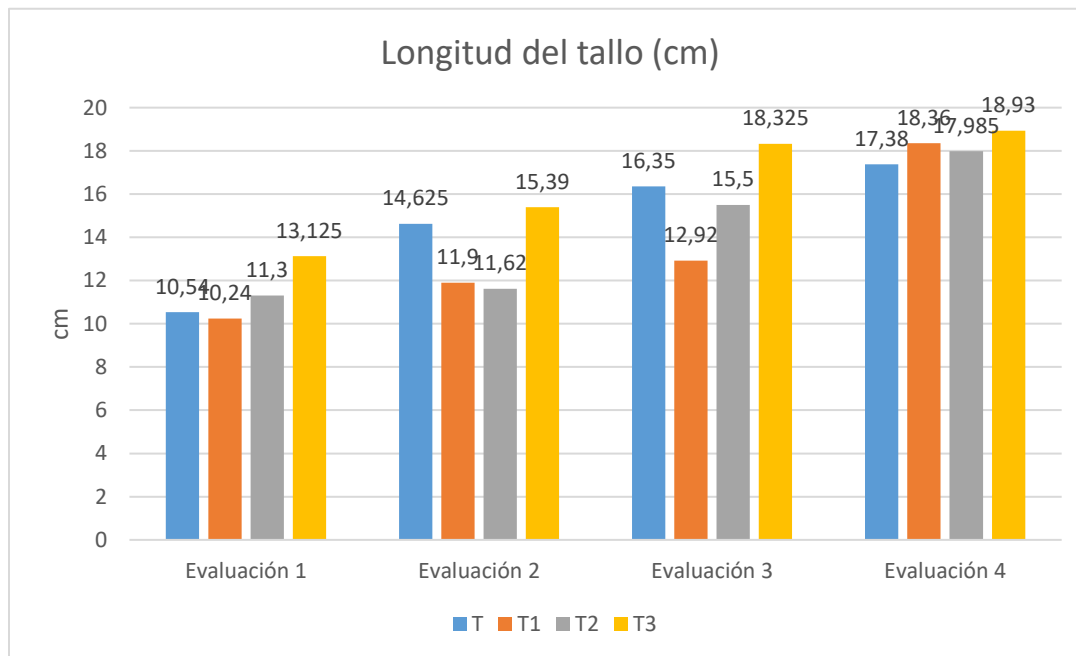
Resultados y discusión

Se realizó el respectivo análisis de los datos obtenidos en campo, por cada una de las variables y las 4 evaluaciones realizadas, se analizó el comportamiento del rendimiento promedio de las plantas, para determinar el de mejor desempeño además de realizar comparación con otras investigaciones sobre sustratos para vivero.

Análisis Variable Longitud del Tallo (cm)

Figura 10

Gráfico longitud del tallo (cm)



Fuente. Autores

En la variable Longitud del tallo, se observó que, en la primera evaluación, el tratamiento 3 fue el de mejor rendimiento, con 13,12 cm de tallo, en la segunda evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 15,39 cm de tallo, en la tercera evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 18,32 cm de tallo, en la cuarta evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 18,93 cm de tallo.

Finalmente se observó que el tratamiento 3, fue el que mejor rendimiento tuvo para la variable longitud del tallo, según investigación sobre sustratos realizada por Silva et al. (2021), la arena ayuda a crear una estructura suave y bien definida en el sustrato, lo que facilita la penetración de las raíces de la planta y su capacidad para absorber agua y nutrientes. Por lo cual el tratamiento 3, compuesto por suelo negro con textura limosa y arena, permitió que las plantas de cacao, logaran un mejor desarrollo de tallo.

Figura 11

Test de tukey variable longitud del tallo

```
$groups
  longitud groups
T3 16.44250     a
T  14.72375    ab
T2 14.10125    ab
T1 13.35500     b
```

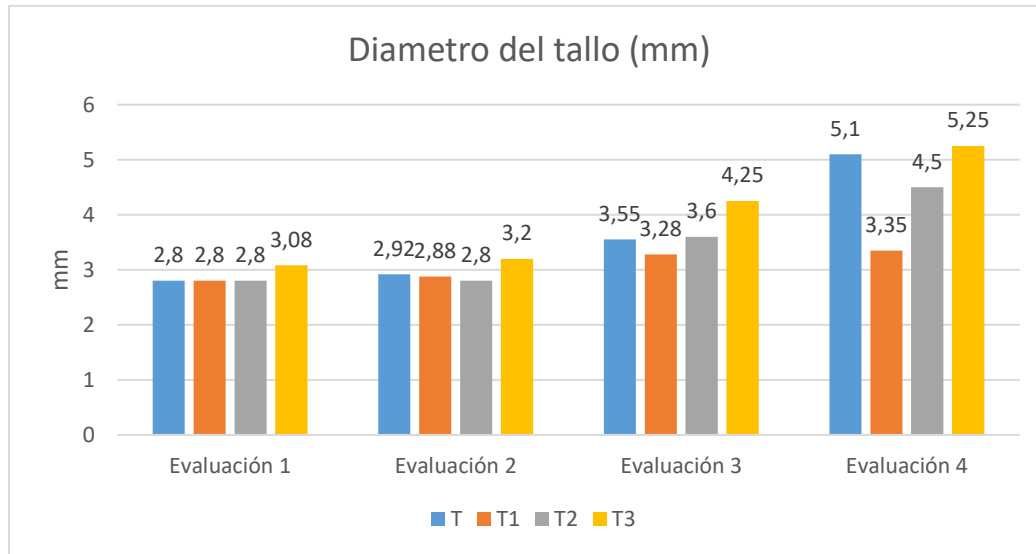
Fuente. Autores

Según la clasificación de medias, de la prueba de tukey del programa R, el tratamiento 3 fue el de la media de mayor rendimiento, para la variable longitud del tallo.

Análisis Variable Diámetro del Tallo (mm)

Figura 12

Gráfico diámetro del tallo (mm)



Fuente. Autores

En la variable diámetro del tallo, se observó en la primera evaluación, que el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 3,08 mm de diámetro de tallo, en la segunda evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 3,2 mm de diámetro del tallo, en la tercera evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 4,25 mm diámetro del tallo, en la cuarta evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 5,25 mm diámetro del tallo. Finalmente se observó, que el tratamiento 3 tuvo el mejor desempeño, para la variable diámetro del tallo, Según investigación sobre sustratos en cacao, realizada por Alcides (2022), sustrato con suelo de bosque y arena, logro un bien desarrollo vegetativo de plantas cacao, debido a las propiedades físicas que aporta al sustrato la arena, tal como la porosidad y drenaje. Teniendo en cuenta lo anterior el tratamiento 3, que es un sustrato con suelo negro con textura limosa y arena, logro el mejor desempeño para la variable diámetro del tallo.

Figura 13

Test de tukey variable diámetro del tallo

```

$groups
  diametro groups
T3      3.9450    a
T       3.5925   ab
T2      3.4250   ab
T1      3.0775    b

```

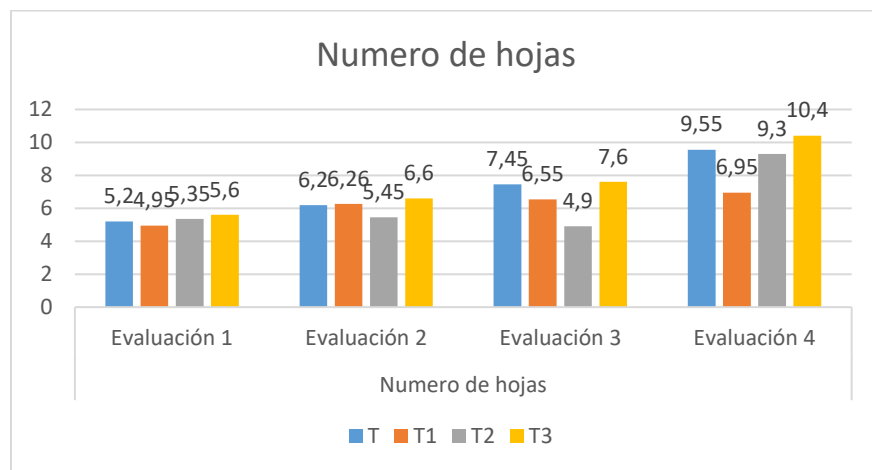
Fuente. Autores

Según la clasificación de medias, del test de tukey del programa R, el tratamiento 3 fue el de la media de mayor rendimiento, para la variable diámetro del tallo.

Análisis Variable Número de Hojas

Figura 14

Gráfico número de hojas



Fuente. Autores

En la variable número de hojas, se observó en la primera evaluación, que el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 5,6 hojas, en la segunda evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor

rendimiento con 6,6 hojas, en la tercera evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 7,6 hojas, en la cuarta evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 10,4 hojas.

Finalmente se observó que el tratamiento 3 tuvo el mejor desempeño, para la variable número de hojas, según investigación realizada por Cahuana (2021), el sustrato con arena permitió un buen desarrollo altura y numero de hojas en plantas de cacao.

Figura 15

Test de tukey variable número de hojas

```
$groups
      hojas groups
T3 7.5500      a
T  7.1000      a
T2 6.2500      a
T1 6.1775      a
```

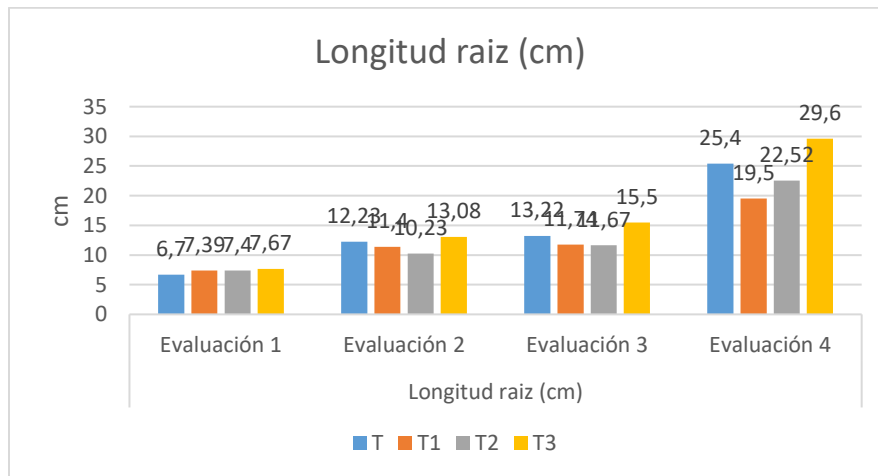
Fuente. Autores

Según la clasificación de medias, del test de tukey del programa R, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos.

Análisis Variable Longitud de la Raíz (cm)

Figura 16

Gráfico longitud de la raíz (cm)



Fuente. Autores

En la variable Longitud de la raíz, se observó en la primera evaluación, que el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 7,67 cm de raíz, en la segunda evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 13,08 cm de raíz, en la tercera evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 15,5 cm de raíz, en la cuarta evaluación, el tratamiento 3 tuvo el mejor rendimiento con 29,6 cm de raíz.

Finalmente se observó que el tratamiento 3 tuvo el mejor desempeño, para la variable longitud de la raíz, según investigación realizada por Silva et al. (2021), La arena genera una estructura suave y bien definida en el sustrato, lo que facilita la penetración de las raíces de la planta y su capacidad para absorber agua y nutrientes. Teniendo en cuenta lo anterior, es la razón por la que el sustrato de arena permitió un mejor desarrollo de raíz.

Figura 17

Test de tukey variable longitud de la raíz.

```
$groups
      raiz groups
T3 16.9000      a
T  14.3875     ab
T2 12.9550     ab
T1 12.5075      b
```

Fuente. Autores

Según la clasificación de medias, de la prueba de tukey del programa R, el tratamiento 3 fue el de la media de mayor rendimiento, para la variable longitud de la raíz.

Análisis de Hipótesis**Figura 18**

Anova en el programa R de los datos

```
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
bloque    3 105.71   35.24  27.683 7.09e-05 ***
tratamiento 3  20.79    6.93   5.444 0.0207 *
Residuals  9  11.46    1.27
---
```

Fuente. Autores

Según el Anova realizado, se observó que el P valor es inferior a 0.05, por lo cual rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, (H_a = Al menos un tratamiento presenta diferencias significativas o se comporta diferente a los demás).

Finalmente se observan diferencias en el comportamiento de las variables en los tratamientos, siendo el tratamiento 3, el del mejor rendimiento en las 4 evaluaciones realizadas, se determinó mediante el análisis del desempeño, también se determinó mediante la clasificación de medias del test de tukey en el programa R, don el tratamiento 3 fue el de mayor desempeño.

Conclusiones

Con el análisis de los datos obtenidos en la investigación hemos encontrado que el tratamiento 3, que está compuesto por suelo y arena, fue el que tuvo un buen desempeño, en desarrollo radicular y vegetativo, debido a que este sustrato presente propiedades físicas, que permiten un buen drenaje, además una buena estructura de suelo, que permite una porosidad, para que las plantas tengan un buen desarrollo radicular, además las plantas tengan una buena adsorción de nutrientes ya que desarrollan un buen sistema radicular, lo cual se ve reflejado en un buen desarrollo vegetativo de las plantas de cacao.

El tratamiento que tuvo un mejor rendimiento en los distintos muestreos y en las variables evaluadas, fue el tratamiento 3, el cual era un sustrato conformado por, dos partes de suelo negro con textura limosa y una de arena de río, 67% suelo con textura limosa, 33% Arena de río. En según lugar tuvo un buen rendimiento en las distintas variables evaluadas, el tratamiento 2, sustrato dos partes de suelo negro con textura limosa y una cascarilla de arroz, 67% suelo con textura limosa, 33% Cascarilla de arroz.

Recomendaciones

Con el proceso de investigación realizado, se puede recomendar que, al momento de realizar un vivero de plantas de cacao, implementar un sustrato que tenga un buen drenaje, una buena porosidad, que le permita a las raíces tener un buen desarrollo, un buen sistema radicular, se nos verá reflejado en un buen desarrollo vegetativo de la planta, teniendo en cuenta lo anterior, es una buena opción utilizar un sustrato de un 67% suelo con un 33% de arena, también es importante tener en cuenta un buen riego y nutrición para un óptimo desarrollo de las plantas en vivero.

Referencias

AGRONET. (2022). AGRONET.

<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>

AGROSAVIA. (2023). *El Cacao una historia que se está escribiendo*.

<https://www.agrosavia.co/noticias/el-cacao-una-historia-que-se-est%C3%A1-escribiendo>

Alcides, L. R. (2022). *Efecto de cinco sustratos en el crecimiento del cultivo de cacao criollo (Theobroma cacao), en etapa de Vivero, Jamalca – Amazonas 2022*. Universidad Politécnica Amazónica.

https://repositorio.upa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12897/140/Tesis_Lucero%20Reyna_Alcides.pdf?isAllowed=y&sequence=5

Cahuana, C. (2021). *Evaluación del efecto de diferentes sustratos en el desarrollo de plantines de cacao (theobroma cacao L.) en el Centro Experimental del Ceibo Ltda. Localidad Sapecho – Palos Blancos*. Universidad Mayor de San Andrés.

<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/26197>

FEDECACAO. (2021). *Guía técnica del cultivo de cacao en Colombia*.

https://drive.google.com/file/d/1tsQcaKdIv66ekLWz5hrqCm221XvuZQAc/view?usp=drive_link

Gutiérrez, M., Gómez, R., y Rodríguez, N. (2011). Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao L.*), en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato. *Revista CORPOICA*. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945030004.pdf>

López, D. A., Plaza, L. F., Rivadeneira, B. J., Párraga, F. M., & Herrera, M. (2020).

Comparación de tres variantes de preparación del sustrato empleado en la propagación de patrones de cacao. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542020000300037&script=sci_arttext&tlng=es

- Moreno, S. (2020). *Evaluación de sustratos, para la germinación y desarrollo vegetativo de las especies (Theobroma cacao L), (Cedrela odorata L) y (Clathrotropis brunnea A), en el municipio de Girón Santander*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/35151/1/smardila.pdf>
- Osorio, M. A., Leiva, E. I., & Ramírez, R. (2017). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en diferentes tamaños de contenedor. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2). <https://doi.org/10.22267/rcia.173402.73>
- Ramos, L., & Tarquino, L. (2016). *Evaluación de diferentes tipos de sustratos en vivero de cacao (Theobroma cacao)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/items/210d20e7-9817-4fae-af0e-152575c97f26>
- Requejo, M. S., & Parizat, R. (2021). *Cacao colombiano, un futuro sostenible y muy dulce*. Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/cacao-colombiano-un-futuro-sostenible-y-muy-dulce>
- Silva, G., Sanchez, T., Chavez, G., Chichipe, J., & Oliva, M. (2021). Influencia de sustratos en el crecimiento y desarrollo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) cultivado bajo un sistema hidropónico en invernadero. *Revista de la Universidad del Zulia*.
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/rluz/article/view/34899/36847>
- Vargas, H., Santa, F., & Lizárraga, A. (2020). *Efecto de tamaño de envases y tres tipos de sustratos para la obtención de portainjerto de cacao (Theobroma cacao L.) en Vivero*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
<https://revistas.untumbes.edu.pe/index.php/manglar/article/download/156/289/995>

Apéndices

Apéndice A

Desarrollo de tallo y hojas Plantas de cacao en vivero

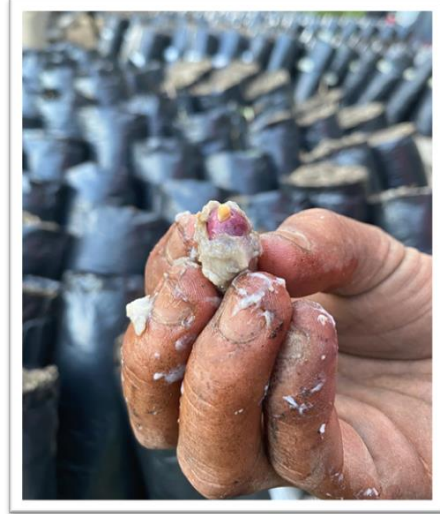


Fuente. Autores

Apéndice B*Montaje del vivero*

Etapas	Evidencia
Marcar Bolsas	
Embolsar	
Distribución de los tratamientos en los bloques	

Siembra de semilla



Fuente. Autores