

Efecto de dos tipos de contenedores y dos tipos de fertilización en el crecimiento de patrones de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo condiciones de vivero

Effect of two types of containers and two types of fertilization on the growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) rootstocks under nursery conditions

M. Rivera-Rojas^{1*}✉, A.R. Caballero-Lopez¹, J.A. Arias-Rojas¹, Y. Romero-Barrera², D.F. Lombo-Ortiz¹

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia, C.I Motilonia, Km. 5 vía Becerril - Agustín Codazzi, Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia, C.I Tibaitata, Km. 14 vía Mosquera -Bogotá, Colombia.

RESUMEN

Colombia cuenta actualmente con un Plan Nacional para la gestión sostenible de plásticos de un solo uso, el cual propone en una de sus metas para el año 2030, que el 100 % de los plásticos de un solo uso, sean reutilizables, reciclables o compostables. A partir de esta necesidad, este proyecto de investigación se propuso como objetivo general la validación técnica de la producción de plántulas de cacao a partir del uso de un medio de propagación aséptico, definido comercialmente como Espuma Agrícola, sustrato a base de arenas y cales. La investigación se desarrolló en el vivero para La Paz ubicado en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA, el cual es administrado por la Compañía Nacional de Chocolates. Como parámetro de comparación se tomó el protocolo de producción de plántulas a partir del uso de bolsas plásticas, el cual está estandarizado por la Compañía Nacional de Chocolates. Se evaluaron dos tipos de fertilización y dos tipos de contenedores (sustratos) incluida la espuma agrícola. Se encontró que existe una interacción entre el tipo de contenedor, tipo de fertilizante y el tiempo de la planta en vivero; mostrando que a los 90 días el mejor tratamiento en cuanto a la materia seca total de planta (MSP) fue la Espuma Agrícola con fertilización granular. Finalmente, los resultados muestran que el uso de la espuma es una tecnología viable para el desarrollo de plántulas de cacao dirigidas a patronaje.

Palabras clave: Espuma agrícola; producción; clon IMC 67; patrón; Desarrollo, biomasa aérea y radicular.

ABSTRACT

Colombia currently has a National Plan for the sustainable management of single-use plastics, which proposes in one of its goals that by 2030 all single-use plastics be reusable, recyclable or compostable. Based on this need, this research project proposed as a general objective the technical validation of the production of cocoa seedlings from the use of foams based on sand and lime, technological products available in the national market. The research was developed in the nursery for La Paz located at the Motilonia Research Center of AGROSAVIA, which is managed by the Compañía Nacional de Chocolates. As a comparison parameter, the

seedling production protocol was taken from the use of plastic bags, which is standardized by the National Chocolate Company. Two types of fertilization and two types of containers (substrates) including Agricultural Foam were evaluated. It was found that there is an interaction between the type of container, fertilizer and time of the plant in the nursery, showing that at 90 days the best treatment in terms of total plant dry matter (PDM) was Agricultural Foam with granular fertilization. Finally, the results of this first phase of the research show that the use of foams is a viable technology for the development of cocoa seedlings for patronage.

Keywords: Agricultural foam, production, clone IMC 67; pattern; development; aerial and root biomass

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de importancia económica, según FAOSTAT (2020) se estimó un área cultivada mundial de 12,315,836 hectáreas (ha), que corresponde a una producción aproximada de 5,756,953 toneladas (t). Costa de Marfil se consolida como el mayor productor de grano de cacao con 2,200,000 t (38.2 %) seguido de Ghana, Indonesia y Nigeria, estos países conjuntamente concentran el 32.6 % de la producción mundial. En cuanto a la producción de cacao en el continente Americano Ecuador, Brasil, Perú, República Dominicana y Colombia, contribuyen con el 15.6 % de la producción.

En Colombia la producción de cacao representa una de las actividades de mayor impacto en sector rural, se estima que alrededor de 34,000 familias cacaocultoras están vinculadas a esta actividad, mientras el área sembrada se incrementó en un 61.2 % entre los años 2010 a 2020 y la producción para el 2021 alcanzó una cifra récord de 60,040 t con un incremento del 8.9 % respecto al periodo 2020 (FEDECACAO, 2022). De acuerdo con UPRA (2022), en Colombia existen 16,750,716 ha con aptitud para cacao, lo que indica que solo el 1.3 % del área se encuentra establecida, a pesar de tener tierras aptas para el cultivo, su desarrollo en las zonas rurales ha sido afectado por los conflictos sociales, sin embargo, existe un potencial para producir cacaos finos y de aroma, el cual ofrece ventajas competitivas para el desarrollo sostenible del sector cacaocultor (Pabón *et al.*, 2016).

*Autor para correspondencia: M. Rivera Rojas
Correo-e: mrivera@agrosavia.co

Recibido: 2 de junio de 2023

Aceptado: 29 de diciembre de 2023

Publicado: 14 de agosto de 2024

Las amplias expectativas de crecimiento de la cacaocultura en Colombia se sustentan sobre la base de un potencial de áreas para siembras nuevas, de acuerdo con UPRA (2022), se estima un área con aptitud 16, 750,716 ha para el cultivo de cacao, de la cual, tan solo el 1.3 % del área actual se encuentra ocupada, seguidamente el potencial de producir cacao finos en sabor y aroma, que ofrece beneficios económicos y sociales diferentes para los productores de cacao en comparación con el mercado a granel (Abbott *et al.*, 2017; Ríos *et al.*, 2017) y finalmente las políticas nacionales de sustitución de cultivos ilícitos que priorizan la cadena productiva del cacao y políticas de desarrollo rural.

Dado el crecimiento en el área de cacao y el potencial de expansión en el territorio nacional, es imperativo implementar y desarrollar tecnologías de fertilización y de propagación vegetal que garanticen la calidad genotípica y morfológica de las plantas y al mismo tiempo la sostenibilidad ambiental durante su proceso. En la etapa de propagación el genotipo de cacao debe propagarse mediante técnica de gemación (injertación) sobre una plántula portainjerto (patrón) propagado a partir de semillas pregerminadas que generalmente se siembran directamente en contenedores de polietileno (Bolsas o tubetes) llenos de tierra o sustrato agrícola hasta la transferencia de la yema (Sodré y Gomes, 2019; Garate *et al.*, 2020).

Es así como la eficiencia en la etapa de propagación del cacao es esencial para acelerar los programas de mejoramiento genético, evitar escasez de producción en el futuro y garantizar la producción del cultivo al largo plazo (Wickramasuriya y Dunwell, 2018). Actualmente, los estudios de propagación de material vegetal de cacao están enfocados a la efectos de sustratos de origen orgánico en contenedores de polipropileno (Tubete) y polietileno (Bolsa) con distintos volúmenes sobre características morfológicas y desarrollo de las plantas dado que son factores importantes para la producción de material vegetal (Gutiérrez *et al.*, 2011; Osorio *et al.*, 2017; Vargas *et al.*, 2020; Aracelly-López *et al.*, 2020).

Las bolsas de polietileno presentan especial atención por su mayor uso a nivel mundial en la producción de material vegetal por su bajo costo, facilidad de transporte y almacenamiento (Luna *et al.*, 2012), sin embargo, presentan un único uso y difícil reutilización contribuyendo a la generación de impactos negativos en el medio ambiente, (Ahmed *et al.*, 2012), por tanto, la imposición de restricciones y el desarrollo de sustitutos alternativos son los enfoques más comunes para abordar este problema (Amaraweera *et al.*, 2021). Al respecto, Colombia cuenta el "Plan nacional para la gestión sostenible de plásticos de un solo uso", el cual propone en una de sus metas para el año 2030 que el 100 % de los plásticos de un solo uso puestos en el mercado, sean reutilizables, reciclables o compostables (Gobierno de la República de Colombia, 2021).

La puesta en marcha de este plan a nivel general demanda compromisos de todos los sectores económicos y actores de la sociedad y de manera particular el sector agropecuario puede contribuir mediante la reducción y sustitución de

plásticos de un solo uso o de poca vida útil, como es el caso de los contenedores comúnmente empleados en vivero. Una de las alternativas emergentes para reemplazar los plásticos es el uso de polímeros biodegradables, ya que no producen daños al medio ambiente y tienen un costo accesible (Amaraweera *et al.*, 2021). Entre estos polímeros se destaca la espuma agrícola ULTRAFOAM® a base de arena y cal, que actualmente está disponible en el mercado nacional y que surge como una alternativa ambientalmente sostenible para la producción de material vegetal durante la etapa de vivero.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de dos sustratos y dos tipos de fertilización sobre el crecimiento de patrones de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo condiciones de vivero para contribuir con la promoción de alternativas ambientalmente sostenibles para la producción masiva de plantas de calidad de cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el vivero denominado "Cacao para la Paz" de la Compañía Nacional de Chocolate (CNCH) en convenio con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) con capacidad de producir 1.2 millones de plántulas anuales, ubicado en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA, sobre las coordenadas 10°0'8,05"N y 73°14'50,76" W en el municipio de Agustín Codazzi, Departamento del Cesar – Colombia). El centro de investigación se encuentra localizado en la zona de vida Bosque seco tropical Bs-T (Holdridge, 1967), a una elevación de 106 m s.n.m. temperatura media multianual (T_{med}) de 29 °C, con temperatura máxima y mínima de 34 °C y 24 °C, respectivamente. La humedad relativa es del 69.7 % y una precipitación promedio multianual de 1,581 mm/año (IDEAM, 2019).

Para el desarrollo del estudio se seleccionaron semillas híbridas de cacao del clon IMC 67 usado como patrón (porta injerto) universal para la injertación de clones de cacao. La semilla se recolectó del jardín Clonal Canaán, el cual posee registro ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), ubicado en el municipio de La Paz, departamento del Cesar, Colombia. Las semillas se colocaron a pregerminar durante 24 a 72 horas en un almácigo compuesto por aserrín, el cual se cubrió con polisombra. Las semillas con la radícula emergida se sembraron en los dos tipos de contenedores, los cuales fueron: i. bolsa plástica que contenía suelo más cascarilla de arroz como sustrato y ii. espuma Agrícola. Es común que la cascarilla de arroz se utilice como mezcla en sustratos convencionales a base de suelo orgánico, pues se argumenta que mejora la oxigenación favoreciendo el desarrollo de las plántulas (Cruz-crespo *et al.*, 2023).

Se colocó una semilla por contenedor a una profundidad no mayor al tamaño de esta y se cubrió con sustrato de la mezcla correspondiente (Santiago *et al.*, 2015). Se utilizaron dos fertilizantes: i. Fertilizante granular de liberación controlada Basacote® (16N – 8P – 12K). Se empleó una dosis de 5 g/planta cuando las plantas cumplieron un mes de edad y ii. Drench: Hidrocomplex (12N - 11P - 18K - 2.65 MgO - 8S) en

una dosis de 0.5 g/L aplicado con bomba de espalda en cada sustrato. El fertilizante se aplicó cada 10 días a partir de los primeros 10 d de desarrollo de la planta, se evitó la utilización de fertilizantes con alto contenido de Nitrogeno (N) debido a que no presentan diferencias significativas en el crecimiento de plantulas en sus primeras fases en variables como altura y biomasa total (López-Arias *et al.*, 2023).

Diseño experimental

Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con un arreglo bifactorial 2 contenedores x 2 tipos de fertilización para un total de cuatro tratamientos (Tabla 1) y cinco bloques (repeticiones). Cada unidad experimental estuvo constituida por 40 plantas y se muestrearon tres plantas por repetición, seleccionadas de la parte media para evitar efectos de borde (Bayala *et al.*, 2009; Salto *et al.*, 2013; Osorio *et al.*, 2017; Castro *et al.*, 2018; Luna, 2019). El experimento fue representado por el siguiente modelo (ecuación 1):

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + t_i + g_j + (tg)_{ij} + e_{ijk} \quad \text{Eq. (1)}$$

Donde, Y_{ijk} = Representa la observación para la k-ésima unidad experimental del nivel i del factor A (sustrato) y nivel j del factor B (fertilización) μ = media general; β_i = efecto del i-ésimo bloque t_i = representa el efecto causado por el nivel i del factor A; g_j = representa el efecto causado por el nivel j del factor B; $(tg)_{ij}$ = representa la interacción del nivel i del factor A y el nivel j del factor B; e_{ijk} = representa el término de error aleatorio asociado a la observación $_{ijk}$.

Variables y frecuencia de medición

El registro de las variables se desarrolló a los 30, 60 y 90 d después de la siembra en los contenedores. En cada evaluación se realizó el muestreo destructivo de tres plantas por repetición (n = 15) a las que se midió las variables: 1) diámetro a la base, medido a la altura del cuello de la raíz (mm) con el uso calibrador digital (Mitutoyo 500-157-30, precisión 0.01 mm), 2) longitud de la planta (cm) medido desde el cuello de raíz hasta la yema apical, 3) longitud de la raíz pivotante (cm), 4) número de hojas, 5) materia seca de la planta (g planta⁻¹) (Osorio *et al.*, 2017; Angulo *et al.*, 2021).

Las muestras de biomasa aérea y radicular fueron separadas en bolsas de papel Kraft, etiquetadas y secadas en horno a temperatura constante por 72 horas a 75 °C (Villalón *et al.*, 2016). Después del secado, las fracciones de biomasa fueron pesadas con balanza digital de precisión Sartorius Germany (0.001 g) para obtener su peso seco. Finalmente, se determinó el índice de calidad de Dickson (Ecuación 2), el cual reúne varios atributos morfológicos en un solo valor, (Dickson *et al.*, 1960; Villalón *et al.*, 2016; Castro *et al.*, 2018), a mayor valor del índice resultará una mejor calidad de planta (Muñoz *et al.*, 2015).

$$ICD = MST / (LP / DB + MSA / MSR) \quad \text{Eq. (2)}$$

Dónde, ICD es el índice de calidad de Dickson, MST es la materia seca de la planta (g), LP es la longitud de la planta

Tabla 1. Descripción de los tratamientos empleados en el estudio.

Table 1. Description of the treatments used in the study.

Tratamiento	Sustrato	Fertilización
T1	Convencional: bolsa de polietileno con una dimensión de 15 cm x 30 cm calibre n°3 con sustrato compuesto por una mezcla de suelo y cascarilla de arroz en proporción 5:1	Fertilizante granular de liberación controlada Basacote® (16N – 8P – 12K). Se empleó una dosis de 5 g/planta cuando las plantas cumplieron un mes de edad.
T2	Convencional: bolsa de polietileno con una dimensión de 15 cm x 30 cm calibre n°3 con sustrato compuesto por una mezcla de suelo y cascarilla de arroz en proporción 5:2	Fertilización en Drench: Hidrocomplex (12N - 11P - 18K - 2.65MgO - 8S) en una dosis de 0.5 gr/litro aplicado con bomba de espalda en cada sustrato. El fertilizante se aplicó cada 10 d a partir de los primeros diez días de desarrollo de la planta.
T3	Espuma ULTRAFOAM® (cubos sueltos de 5 cm x 5 cm x 20 cm). De acuerdo con el fabricante, es un medio sintético, biodegradable, completamente inerte, hecho con resinas fenólicas expandidas con cal dolomítica y arena.	Fertilizante granular de liberación controlada Basacote® (16N – 8P – 12K). Se empleó una dosis de 5 g/planta cuando las plantas cumplieron un mes de edad.
T4	Espuma ULTRAFOAM® (cubos sueltos de 5 cm x 5 cm x 20 cm). De acuerdo con el fabricante, es un medio sintético, biodegradable, completamente inerte, hecho con resinas fenólicas expandidas con cal dolomítica y arena.	Fertilización en Drench: Hidrocomplex (12N - 11P - 18K - 2.65MgO - 8S) en una dosis de 0,5 gr/L aplicado con bomba de espalda en cada sustrato. El fertilizante se aplicó cada 10 d a partir de los primeros diez días de desarrollo de la planta.

(cm), DB es el diámetro a la base (mm), MSA es la materia seca de la parte aérea (g) y MSR es la materia seca de las raíces (g).

Análisis de datos

Una vez registrada la información del estudio, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los contenedores (sustrato), tipo de aplicación del fertilizante y época de evaluación sobre las variables de crecimiento, cuando existían diferencias significas entre los tratamientos ($p < 0.05$), se realizó prueba de comparación de medias TUKEY empleando el procedimiento GML disponible en el programa estadístico SAS 9.4 (SAS Institute, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetro a la base (DB)

El diámetro a la base del tallo es una característica importante en el crecimiento de plantas, ya que es el lugar de almacenamiento de nutrientes esenciales (Parra *et al.*, 2012). La calidad y el crecimiento de este atributo garantiza la supervivencia de las plántulas en campo (Mexal y Landis, 1990). En la Tabla 2 se presentan los resultados de la comparación de medias TUKEY para los factores contenedores, fertilización, tiempo

Tabla 2. Comparación de medias TUKEY para las variables de crecimiento.
Table 2. Means for the study variables according to Tukey's test.

Fuente de Variación		LT	LR	DB	NH	MSP
Tiempo	90	-	-	6,91a	19,45a	-
	60	-	-	5,65b	13,03b	-
	30	-	-	3,95c	5,77c	-
Contenedor	Convencional	-	-	5,58a	-	0,92a
	Espuma	-	-	5,42b	-	0,81b
Contenedor x Tiempo	Convencional *90	-	34,63a	-	-	-
	Espuma *90	-	31,14ab	-	-	-
	Convencional*60	-	28,36b	-	-	-
	Espuma *60	-	28,61b	-	-	-
	Convencional*30	-	17,83c	-	-	-
	Espuma *30	-	21,12c	-	-	-
	Granular*90	41,26a	-	-	-	-
	Drench*90	31,58b	-	-	-	-
Fertilización x Tiempo	Granular*60	27,70c	-	-	-	-
	Drench*60	23,84d	-	-	-	-
	Granular*30	16,92e	-	-	-	-
	Drench*30	16,25e	-	-	-	-
	Convencional*Granular	30,24a	-	-	14,44a	-
	Espuma*Granular	27,02b	-	-	12,58b	-
Contenedor x Fertilización	Convencional *Drench	23,58c	-	-	11,69b	-
	Espuma*Drench	24,20c	-	-	12,29b	-
	Espuma*Granular*90	-	-	-	-	7,17a
	Convencional*Drench*90	-	-	-	-	5,04b
Contenedor x Fertilización x Tiempo	Espuma*Drench*90	-	-	-	-	4,16bc
	Convencional*Granular*90	-	-	-	-	7,12a
	Espuma*Drench*60	-	-	-	-	2,76d
	Espuma*Granular*60	-	-	-	-	3,14d
	Convencional*Drench*60	-	-	-	-	2,73d
	Convencional*Granular*60	-	-	-	-	3,63cd
	Convencional*Drench*30	-	-	-	-	1,78e
	Espuma*Drench*30	-	-	-	-	1,25e
	Espuma*Granular*30	-	-	-	-	1,27e
	Convencional*Granular*30	-	-	-	-	1,37e

LT: longitud del tallo (cm); LR: longitud de la raíz (cm); DB: diámetro a la base (mm); NH: número de hojas; MSP: materia seca de la planta (g). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

y sus interacciones. Al respecto, se hallaron diferencias significativas asociadas al tiempo de evaluación (30, 60 y 90 d), siendo el mejor valor el registrado a los 90 d (6.91 mm). Del mismo modo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tipo contenedores (convencional y espuma agrícola), a favor del contenedor convencional con un valor de 5.58 mm. Este resultado concuerda con algunos

estudios para la variedad IMC 67, donde se evidenció que con la bolsa (1.6 L) se presentó un desarrolló entre 4 a 6 mm en un periodo de tiempo de 90 d el cual fue mayor al presentado en tubetes (0.4 L) pero sin diferencias estadísticas con la matera (3.0 L), indicando así que un mayor volumen y espacio del contenedor favorece el desarrollo del DB (Gutiérrez *et al.*, 2011). En mediciones realizadas a los 45 y 105 d se obtuvo

el mayor valor promedio para diámetro de base en plántulas de cacao (5.84 mm y 7.63 mm) utilizando bolsa plástica de 14 x 30 cm con un peso de 1.5 kg (Villacorta *et al.*, 2021). Por su parte, en un estudio donde se evaluó el efecto en el crecimiento de cuatro (4) dimensiones de bolsa después de 120 d se obtuvo que la mejor dimensión correspondió a 8 x 12 cm con 5.6 mm (Vargas *et al.*, 2020). Si bien el resultado es similar al actual estudio, se presentó un menor tamaño de bolsa y en un mayor tiempo, es decir que el tamaño y altura del contenedor favorecen el crecimiento de cacao (Gutierrez y Rodriguez, 2011; Vargas *et al.*, 2020; Villacorta *et al.*, 2021) además de que contribuye con el crecimiento de la raíz lo que influye en la biomasa aérea (Osorio *et al.*, 2017).

El aumento en los precios de los fertilizantes químicos y las posibilidades de valor agregado que generan los productos orgánicos ha generado interés en el mercado del cacao, por tal motivo se han realizado diversas investigaciones sobre su efecto en el crecimiento de plántulas en vivero. Lliuya (2015) obtuvo diferencias estadísticamente significativas con ocho tipos de abonos orgánicos, registrando los valores máximos con compost y estiércol de cuy (5.13 mm y 5.08 mm) a los 60 d y con estos mismos abonos (6.8 mm y 6.55 mm) a los 90 d. Estos resultados son similares a los presentados en este estudio, donde se empleó fertilización química, lo cual ofrece oportunidades para ensayar el efecto de otras fuentes nutricionales en etapa de vivero.

Longitud de la raíz (LR)

Con relación a longitud de la raíz se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) asociadas a la interacción contenedor x tiempo (Tabla 3), sin embargo, se observa que las diferencias se relacionan con el tiempo de evaluación, es así como la longitud de la raíz en plantas de cacao sembradas en contenedor convencional y espuma agrícola fue similar bajo la influencia de un mismo tiempo de evaluación (Tabla 3). Las plantas en contenedor convencional (bolsa más sustrato) y espuma agrícola presentaron una LR promedio a los 90 d de 34.63 cm y 31.14 cm en su orden, valores similares a los encontrados por Osorio *et al.* (2017), quienes reportaron a los 240 días longitudes de raíces de 24.17 cm, 35.67 cm y 31.17 cm en plantas de cacao del genotipo IMC 67 sembradas

en contenedores pequeño (0.01 m³ y 25 cm de altura), mediano (0.02 m³ y 45 cm de altura) y grande (0.10 m³ y 70 cm de altura), respectivamente. Por otro lado, Aracelly-López *et al.* (2020) no encontraron diferencias estadísticas significativas en la longitud de raíces a los 60 días en diversos tratamientos para la preparación de sustratos, en este sentido, Osorio *et al.* (2017) y Aracelly-López *et al.* (2020) infieren que para favorecer el crecimiento radicular es importante usar sustratos sueltos y poco compactados, dado que el crecimiento de las raíces se relaciona inversamente con la resistencia a la penetración del suelo.

Los resultados obtenidos en el estudio son concluyentes y evidencia la respuesta positiva en crecimiento de raíces de plantas de cacao, lo cual es favorable considerando que la habilidad de las plantas para explorar el suelo está influenciada en gran medida por la distribución de las raíces en el perfil y las propiedades del suelo (Ramírez, 2016), por tanto, el proceso de formación de raíces debe promoverse desde las etapas de vivero.

Longitud del tallo (LT)

Los atributos morfológicos de una planta de cacao pueden correlacionarse con la supervivencia y el crecimiento inicial que tenga en terreno; mientras más grande sea la planta mayor será su prendimiento. En este sentido, la longitud del tallo alcanzado en la etapa de vivero juega un papel determinante, de ahí que la definición del sustrato y el tipo de fertilización debería afectar positivamente el desarrollo de este atributo. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que el desarrollo de la variable Longitud del Tallo (LT) está determinado por las interacciones entre el tipo de fertilización y el tiempo, además de la interacción contenedor y tipo fertilización (tabla 3). Así, a los 90 d la fertilización granular fue el mejor tratamiento, alcanzando una longitud del tallo de 41.2 cm. Por su parte, en la interacción Contenedor x Fertilización, el mejor tratamiento fue el convencional con fertilización granular, seguido de la espuma agrícola con el mismo tipo de fertilización. En el estudio realizado por Angulo *et al.* (2021) demostraron que la variable de altura de la planta estuvo influenciada por la cantidad de sustrato y el tiempo en vivero, es decir, a mayor cantidad de suelo en bol-

Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) para las variables de estudio.
Table 3. Analysis of variance for the study variables.

Fuente de variación	LT	DB	LR	NH	MSP
Tiempo	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Contenedor	0.0175	0.0411	0.9836	0.0866	0.0060
Fertilización	<0.0001	0.0706	0.1257	0.0001	<0.0001
Contenedor x Tiempo	0.0837	0.1980	0.0029	0.9006	0.7818
Fertilización x Tiempo	<0.0001	0.4279	0.6256	0.0591	<0.0001
Contenedor x Fertilización	0.0007	0.0853	0.0530	0.0014	0.2019
Contenedor x Fertilización x Tiempo	0.0685	0.0673	0.6079	0.0602	0.0318

LT: longitud del tallo (cm); LR: longitud de la raíz (cm); DB: diámetro a la base (mm); NH: número de hojas; MSP: materia seca de la planta (g). Valores $p < 0,05$ son estadísticamente significativos.

sas de mayor tamaño a los 105 días se obtuvieron las plantas más altas con 48,25 cm. Resultado similar al obtenido en este estudio a los 90 días con el tipo de fertilización granular.

Número de Hojas (NH)

El número de hojas es un buen indicador del desarrollo de las plántulas en la fase de vivero, se estima que a mayor número la tasa de fotosíntesis se incrementa y con ello habrá una mayor acumulación de biomasa, tanto en hojas, tallo y raíz. En este sentido se determinó efecto entre la interacción contenedor x fertilización sobre la producción de hojas, siendo mayor en plantas sembradas en contenedor convencional y con fertilización granular con 14.44 hojas, seguido de espuma y fertilización granular con 12.58 hojas. Mientras la interacción contenedor convencional x fertilización drench y espuma x fertilización drench presentaron 11.69 y 12.29 hojas respectivamente (Tabla 4). Este rango en la producción de hojas es similar el reportado por Aguirre *et al.* (2007) en plantas de cacao en vivero de 90 d de edad en sustrato de suelo inoculadas con *Azospirillum brasilense*, *Glomus intraradices* y testigo produjeron 10.80, 12.32 y 9.2 hojas respectivamente. Mientras, Ricárdez *et al.* (2020) reportó en plantas de cacao de tres meses (90 días) germinadas en sustratos; suelo 100 % y suelo 85 % + arena 15 %, una producción de 12.60 y 12.10 hojas.

Tabla 4. Medias para la variable índice de Dickson de acuerdo con la prueba de Tukey.

Table 4. Means for the Dickson index variable according to Tukey's test.

Sustrato	Tipo de fertilización	Media
Espuma Ultrafoam	Granular	0.648a
Convencional	Drench	0.602ab
Espuma Ultrafoam	Drench	0.500b
Convencional	Granular	0.487b

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

Materia seca de la planta (MSP)

Las plántulas de cacao cultivadas en sustratos a base de suelo, mezclado en alguna proporción con compuestos orgánicos, han arrojado excelentes resultados. García (2014) encontró que, tanto a los tres como a los seis meses en fase de vivero, el desarrollo en altura de la planta, diámetro a la base, número de hojas, área foliar, peso seco de raíz y peso de la materia seca total, era superior en comparación con las plántulas de cacao cultivadas en otros sustratos a base de residuos orgánicos. Similares resultados encontraron Quayé *et al.* (2019) al evaluar el efecto de diferentes medios de propagación; el sustrato suelo mostró los mejores resultados en cuanto a la altura y diámetro de la planta. Si bien, en este estudio el peso seco de la planta mostró diferencias significativas a favor del sustrato a base de suelo y cascarilla de arroz, al ver el efecto de la interacción de los sustratos con el tipo de fertilización en el periodo 90 d, el sustrato espuma agrícola con fertilización granular igualó los resultados del sustrato convencional, siendo estos dos significativamente superiores a los demás tratamientos (Tabla 3).

Índice de calidad de Dickson (ICD)

El índice de calidad de Dickson es un indicador para evaluar la calidad de las plántulas en función de atributos morfológicos como la materia seca, relación la altura y diámetro en la base del tallo, la materia seca del tallo y las hojas y la materia seca de la raíz (Rueda *et al.*, 2012). Se considera que este índice es uno de los mejores parámetros para indicar la calidad de una planta en fase de vivero, ya que expresa el equilibrio en la distribución de la biomasa y la robustez, lo que sugiere una selección adecuada de plantas donde se descarte individuos desproporcionados, algunos de ellos de menor altura aun cuando tengan mayor vigor (González, 2007). Aunque no se encuentra referencia del uso de este índice en evaluación de plántulas de cacao en vivero, si se ha utilizado para predecir el comportamiento y desarrollo de plántulas de especies forestales (González *et al.*, 1996); lo que permite sugerir que es válido tenerlo en cuenta como un parámetro más de medición de la calidad de las plantas de cacao en esta fase de desarrollo.

El análisis de varianza para el ICD se realizó solo a los 90 d y no se encontró diferencias estadísticas significativas para los contenedores y tipos de fertilización de manera independiente; no obstante, si las hubo para la interacción ($p = 0.0011$). El estudio mostró que la mejor proporcionalidad en las plantas de cacao se halló con los tratamientos espuma con fertilización granular y contenedor convencional con la fertilización tipo drench. Entre estos dos tratamientos no hubo diferencias estadísticas significativas; sin embargo, fueron superiores con relación a los dos tratamientos restantes (Tabla 4).

CONCLUSIONES

El desarrollo de las plantas de cacao en fase de vivero está determinado por la relación sustrato, fertilización y tiempo; algo que tienen muy bien definido los viveristas del sector cacaoero y que fue corroborado en este estudio. Mediante la utilización de bolsas y sustratos en un determinado tiempo logran producir plántulas de calidad. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio muestran que al cambiar la bolsa y el sustrato por el uso de las espumas agrícolas, manteniendo el protocolo de fertilización granular, se logra producir plántulas con iguales atributos morfológicos. En este sentido, las espumas agrícolas son una tecnología viable desde el punto de vista técnico; el cual pudiera reemplazar el uso de sustratos convencionales a base de suelo y material orgánico. Nuevas tecnologías que eviten el uso de plásticos contribuyen a la reducción de la contaminación ambiental, aportando así a la sostenibilidad de los diferentes sectores productivos.

Finalmente, es importante tener en cuenta la relación costo beneficio en el uso de una nueva tecnología, materia prima o producto. En este sentido, se recomienda validar una fase de producción a escala, considerando las implicaciones económicas que podría tener el uso de las espumas agrícolas u otras similares que estén disponibles en el mercado. Aspectos como la posible reducción del costo en transporte

de material vegetal de cacao desde el vivero hasta el sitio definitivo; la mano de obra por manipulación de las plantas en campo y el uso de agua en vivero, son algunos ejemplos de los beneficios económicos que traería el uso de estas tecnologías.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan especial agradecimiento a la Compañía Nacional de Chocolates, vivero para la paz al proporcionar recursos logísticos y su personal técnico Alexander Jaimes Rangel y Meiber Eduardo Arcila. Igualmente que a la empresa FENOCOL, al proporcionar las espumas ULTRAFOAM® usada para la investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Abbott, P. C., Benjamin, T. J., Burniske, G. R., Croft, M. M., Fenton, M. C., Kelly, C., Lundy, M., Rodríguez-Camayo, F., y Wilcox, M. 2017. Un análisis de la cadena productiva del cacao en Colombia [An analysis of the cocoa production chain in Colombia (p. 86)]. USAID Colombia.
- Ahmed, J., Tiwari, B. K., Imam, S. H., y Rao, M. A. 2012. Starch-based polymeric materials and nanocomposites: Chemistry, processing, and applications. *Starch-Based Polymeric Materials and Nanocomposites: Chemistry, Processing, and Applications* (pp. 1-396). CRC Press. doi:10.1201/b11848
- AGRONET (Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano). 2021. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. <https://agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=3>
- Aguirre-Medina, JF., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J.y Avendaño-Arrazate, CH. 2007. Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L.) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8), 541-546
- Amaraweera, S. M., Gunathilake, C., Gunawardene, O. H. P., Fernando, N. M. L., Wanninayaka, D. B., Dassanayake, R. S., Manipura, A. 2021. Development of starch-based materials using current modification techniques and their applications: A review. *Molecules*. MDPI. doi:10.3390/molecules26226880
- Angulo, C., Mathios, M., Racchumi, A., Bardales, R. y Ayala, D. 2021. Growing of cacao seedlings (*Theobroma cacao* L.) in the nursery, using different volumes of substrate. *Manglar* 18(3): 261-266.
- Aracelly-López, D., Plaza-Avellán, LF., Rivadeneira-Moreira, B., Párraga-Palacios, FM. y Herrera-Suárez, M. 2020. Comparison of three variants of substrate preparation used in the propagation of cocoa standards. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(3), 37-49.
- Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Ouédraogo, S.J. y Sanon, K. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. *New Forests*, 38. 309-322. doi: 10.1007/s11056-009-9149-4
- Binotto, A.F., Lúcio, A.D., y Lopes, S.J. 2010. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne*, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464
- Brucker Kelling, M., Machado Araujo, M., Benítez León, E., Carpenedo Aimi, S., y Turchetto, F. 2017. Regímenes de riego y dosis de polímero hidrorretedor sobre características morfológicas y fisiológicas de plantas de *Cordia trichotoma*. *Bosque* (Valdivia), 38(1), 123-131.
- Castro-Garibay, S.L., Aldrete, A., López-Upton, J., y Ordáz-Chaparro, V.M. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de pinus greggii var. australis en vivero. *Agrociencia*, 52(1), 115-127.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Álvaro, Chan-Cupul, W., Luna-Esquivel, G., Rojas-Velázquez, Ángel N., y Macilla-Villa, O.R. 2023. Cascarilla de arroz fragmentada como componente del medio de crecimiento de plántulas de albahaca: Cascarilla de arroz en crecimiento de albahaca. *Biotecnia*, 25(2), 52-59. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1735>
- FEDECACAO. 2022. La producción cacaotera nacional sigue creciendo: en 2021 logra un nuevo record histórico. <https://www.fedecacao.com.co/post/la-produccion-cacaotera-nacional-sigue-creciendo-en-2021-logra-un-nuevo-record-historico>
- Garate, M.A., Urrelo, J.L., y Delgado, H. 2020. Técnicas de propagación de cacao (*Theobroma cacao* L.) Proyecto Ampliación y Mejoramiento de los Servicios de Apoyo al Desarrollo Productivo de la Cadena del Cacao a los Productores en la Región de San Martín. 11 p.
- García, G. 2014. Growth of cocoa seedlings as affected by different growth media and different polybag sizes. A thesis submitted to the University of Ghana, Legon in Partial fulfillment of the requirements for the award of Mphil (Crop Science) Degree.
- Gobierno de la República de Colombia. 2021. Plan Nacional para la gestión sostenible de plásticos de un solo uso. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C., Colombia. 31 p.
- Gutiérrez, M., Gómez, R., y Rodríguez, N.F. 2011. Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 12(1), 33-41.
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. *Life zone ecology*. (rev. ed.).
- IDEAM, 2019. Datos agroclimáticos de la estación C.I Motilonia-Agrosavia.
- Landis, T.D., Dumroese, R.K. y Haase, D.L. 2010. The Container tree nursery manual. Vol. 7. Seedling processing, storage, and outplanting *Agricultural Handbook* 674. U. S. Department of Agriculture Forest Service. Washington, DC. USA. 200 p. <https://rnr.net/publications/ctnm/volume-7>
- LLiuya Potokar, V. 2015. Fertilización orgánica en el crecimiento vegetativo de los patrones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un suelo inceptisols en fase de vivero, en el distrito de Nuevo Progreso, Tocache, San Martín.
- López-Arias, C.A., Escalante Estrada, J.A.S., Rodríguez-González, M.T., y Aguilar Carpio, C. 2023. Crecimiento, biomasa, rendimiento y componentes de canola (*Brassica napus* L.) en respuesta a la fuente nitrogenada: Crecimiento, biomasa, rendimiento y componentes de canola. *Biotecnia*, 25(3), 65 - 70. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i3.2003>

- Luna, T., Landis, T., y Dumroese, K. 2012. Contenedores: Aspectos técnicos, biológicos y económicos. En Consejo Federal de Inversiones et al (Eds). Producción de Plantas en Viveros Forestales. 7 p. https://www.researchgate.net/publication/272790749_Contenedores_aspectos_tecnicos_biologicos_y_economicos
- Luna, C.V. 2019. Substrate and fertilizer concentration on loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in nursery growth. *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 39 (1): 19-29.
- Mexal, J.G., y Landis, T.D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In *Proceedings, western Forest nursery association* (pp. 13-17).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2021. Plan Nacional para la gestión sostenible de plásticos de un solo uso: sustitución de materiales plásticos, prevención, reducción, reutilización, reciclaje, aprovechamiento, comunicación y cultura ciudadana ecodiseño, consumo responsable, responsabilidad extendida del productor, economía circular, ciclo de vida de materiales. Mesa nacional para la gestión sostenible del plástico. Bogotá D.C. 32 p
- Muñoz Flores, H.J., Sáenz Reyes, J.T., Coria Avalos, V.M., García Magaña, J.deJ., Hernández Ramos, J., y Manzanilla Quijada, G.E. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales.* 6(27), 72-89.
- Osorio, M., Leiva, E., Ramírez, R. 2017. Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes tamaños de contenedor. *Rev. Cienc. Agr.* 34(2): 73 - 82. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v34n2/v34n2a06.pdf>
- Pabón, M., Herrera, L. y Sepúlveda, W. 2016. Caracterización socio-económica y productiva del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia). *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38, 283-294. <https://www.redalyc.org/journal/141/14146082001/html/>
- Parra Terraza, S., Lara Murrieta, P., Villarreal Romero, M., y Hernández Verdugo, S. 2012. Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(2), 143-153.
- Quaye, A.K., Kolan, S., Arthur, A., Pobee, P., Dogbatse, J.A. 2019. Effect of media type and compost mixtures on nutrient uptake and growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedling in the nursery. *Ghana Journal of Horticulture.* Vol. 14, No. 1. pp. 11-21
- Ramírez, R. 2016. Fertilidad integral del suelo. Actualización en fertilidad del suelo, 41-56.
- Sáenz Reyes, J.T., Muñoz Flores, H.J., Pérez D., C.M.Á., Rueda Sánchez, A., y Hernández Ramos, J. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26),98-111.
- Ríos, F., Rehpani, C., Ruiz, A., y Lecaro, J. 2017. Estrategias país para la oferta de cacao especiales - Políticas e iniciativas privadas exitosas en el Perú, Ecuador, Colombia y República Dominicana (p. 136). Swisscontact Colombia Foundation.
- Rueda, A., Benavides, J.D., Prieto-Ruiz, J., Sáenz, J.T., Orozco-Gutiérrez, G., y Molina, A. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(14):69-82.
- Salto, C.S., García, M.A., y Harrand, L. 2013. Influencia de diferentes sustratos y contenedores sobre variables morfológicas de plantines de dos especies de *Prosopis*. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 21(1-2),90-102.
- Santiago Trinidad, O., Vargas Hernández, J.deJ., Aldrete, A., López Upton, J., y Fierros González, A.M. 2015. Sustratos y tamaños de contenedor en el desarrollo de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(31), 94-113.
- SAS Institute. 2013. Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures. Second edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 550 p.
- Sodré, G.A., y Gomes, A.R.S. 2019. Cocoa propagation, technologies for production of seedlings. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 41 (2), e-782. doi:10.1590/0100-2945201978
- Vargas, H., Santa Cruz, F., y 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. *Manglar*.
- Villacorta, C.D.A., Flores, M.A.M., García, A.R., Bardales-Lozano, R.M., y Montejó, D.A. 2021. Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero, usando diferentes volúmenes de sustrato. *Manglar*, 18(3), 261-266.
- Villalón, H., Ramos, J., Vega, J., Marino, B., Muños, M., Garza, F. 2016. Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 12 (1): 46-52.
- Wickramasuriya, A.M., y Dunwell, J.M. 2018. Cacao biotechnology: current status and future prospects. *Plant Biotechnol J*, 16: 4-17. doi: 10.1111/pbi.12848