



Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) en vivero, usando diferentes volúmenes de sustrato

Growing of cacao seedlings (*Theobroma cacao*) in the nursery, using different volumes of substrate

Carlos Darwin Angulo Villacorta^{1,*}; Marco Antonio Mathios Flores¹; Alfredo Racchumi García¹; Ricardo Manuel Bardales-Lozano²; Diana Ayala Montejo³

1 Estación Experimental Agraria San Ramón, Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Av. Carretera Yurimaguas- San Ramón Km 3,5, 16501, Yurimaguas-Loreto 25001, Perú.

2 Palmas del Espino S.A. Fundo Palmawuasi S/N, Uchiza, Tocache, San Martín, Perú.

3 Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Chapingo, México, Carretera Federal México Texcoco Km 38.5 Universidad Autónoma Chapingo 56230. Texcoco, México

*Autor corresponsal: cangulovillacorta@gmail.com (C. D. Angulo Villacorta).

ID ORCID de los autores

C. Angulo Villacorta: <https://orcid.org/0000-0002-7158-095X>

M. Mathios Flores: <https://orcid.org/0000-0003-2686-9612>

A. Racchumi García: <https://orcid.org/0000-0002-6382-2517>

R. Bardales Lozano: <https://orcid.org/0000-0003-4442-3024>

D. Ayala Montejo: <https://orcid.org/0000-0001-9827-0575>

RESUMEN

El cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) en Alto Amazonas ha aumentado sus extensiones en la última década, lo cual demanda plántulas de cacao con buenas raíces. Esta demanda requiere sustratos para la producción de plantas en vivero; sin embargo, en la zona es escaso, por lo que es necesario identificar el volumen de sustrato para obtener plántulas de cacao, con el fin de establecer plantaciones con éxito. El objetivo del estudio fue evaluar el crecimiento de plántulas en vivero, usando diferentes volúmenes de sustratos. El diseño experimental correspondió a Completamente al Azar (DCA) con arreglo en parcelas divididas y dependencias fueron representadas mediante gráficos de regresión lineal y polinómica. Se utilizaron semillas pre germinadas de cacao criollo, se evaluaron a los 15, 45, 75 y 105 días de la emergencia, altura de la planta (cm), número, ancho y longitud de hojas (cm), diámetro del tallo (cm), longitud de raíz principal (cm) y el peso fresco total de plantas (g). Los resultados indican que en volúmenes de 1,5 kg la mayoría de las variables evaluadas en espacial el peso total de las plantas tuvo mejores promedios y ajuste del modelo lineal. Lo que se evidencia un mejor comportamiento en comparación de los otros dos volúmenes de sustrato (1 kg y 2 kg), lo que permite definir parcialmente un estándar del volumen a usar en la producción de plantas en vivero.

Palabras clave: *Theobroma cacao*; plántulas; vivero; volumen de sustrato.

ABSTRACT

The cultivation of cacao (*Theobroma cacao*) in Alto Amazonas has increased its extensions in the last decade, which demands cacao seedlings with good roots. This demand requires substrates for the production of plants in the nursery; However, in the area it is scarce, so it is necessary to identify the volume of substrate to obtain cocoa seedlings, in order to establish successful plantations. The objective of the study was to evaluate the growth of seedlings in the nursery, using different volumes of substrates. The experimental design corresponded to Completely Random (DCA) with arrangement in divided plots and dependencies were represented by linear and polynomial regression graphs. Pre-germinated seeds of Creole cocoa were used, they were evaluated at 15, 45, 75 and 105 days of emergence, plant height (cm), number, width and length of leaves (cm), stem diameter (cm), main root length (cm) and total fresh weight of plants (g). The results indicate that in volumes of 1.5 kg, most of the variables evaluated in space, the total weight of the plants had better averages and fit of the linear model. This shows a better performance compared to the other two volumes of substrate (1 kg and 2 kg), which allows partially defining a standard of the volume to be used in the production of plants in the nursery.

Keywords: *Theobroma cacao*; seedlings; nursery; substrate volume.

Recibido: 04-05-2021.

Aceptado: 10-07-2021.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es una especie leñosa tropical mejor conocida por ser la fuente de granos de cacao (Hämälä et al., 2020) y es considerado uno de los cultivos perennes más importantes en el mundo por sus valores nutritivos y económicos (López & Rivero, 2017).

Esta especie crece comúnmente adaptados a climas tropicales (Abdulai et al., 2020) en áreas de alta precipitación (1,500 a 2,000 mm) y pertenece a la familia Malvaceae (Carr & Lockwood, 2011), su altura varía entre 3 a 5 m aproximadamente (Famuwagun & Agele, 2019). El origen geográfico de esta especie es América del Sur (Oluwalade, 2018) y se encuentran en diversas poblaciones silvestres en la región amazónica (Lachenaud et al., 2007; Famuwagun & Agele, 2019; Nieves-Orduña et al., 2021), producidos principalmente por pequeños agricultores (Braga et al., 2019).

El Perú, el cacao es el sexto cultivo económico más importante, con más de 138.000 agricultores involucrados (Pokorny et al., 2021) y se ha convertido en uno de los principales exportadores de granos de cacao orgánico del mundo (Arévalo-Gardini et al., 2017) por su buena calidad de grano. Específicamente en la Amazonía peruana se albergan grandes cantidades de diversas poblaciones de cacao (Bartley, 2005) cultivados por agricultores, muchos de ellos sin conocimiento técnico desde la fase de vivero, teniendo como resultados plántulas con deficiencias en tamaño y deficiencia en el sistema radicular. Según Adu-Berko et al. (2011) para establecer plantaciones exitosas de cacao existen requisitos, siendo una de las principales la obtención del material vegetal de

calidad. Sin embargo, el material obtenido, provienen de viveros que utilizan contenedores o bolsas con diversos volúmenes de sustratos que afectan el desarrollo de sus raíces y que pueden afectar el crecimiento aéreo en campo definitivo (Adu-Berko et al., 2011).

Está comprobado que el mejor método tradicional para la producción de plántulas de cacao es usando bolsas de polietileno con sustrato, este método es considerado el mejor porque asegura una alta supervivencia y una rapidez adaptación al ser establecidos en campo definitivo (Oppong et al., 1999). Sin embargo, es necesario conocer el volumen ideal de sustrato para un mejor comportamiento, crecimiento y vigorosidad de las plántulas antes de establecerse en campo definitivo. Existen trabajos en viveros en zonas amazónicas confirmando que el volumen del sustrato juega un papel fundamental en el crecimiento y generación de raíces de plántulas de cacao (Osorio et al., 2017). Por otro lado, algunos estudios han demostrado que plántulas criadas en volúmenes de sustratos en pocas proporciones tienen problemas con el desarrollo de las raíces porque tienen la tendencia de crecer en espirales cuando estas golpean el fondo interior del recipiente condicionando a una raíz principal deformada (Edwin & Masterns, 2005). Esta afirmación es debido a que las plántulas de cacao permanecen más tiempo de lo debido en el vivero. En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar el crecimiento de plántulas de (*Theobroma cacao*), en vivero, usando diferentes volúmenes de sustrato.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el vivero de la Estación Experimental Agraria (EEA) San Ramón, ubicado a una distancia aproximado de 3,5 km de la carretera Yurimaguas-río Shanusi, con coordenadas 5°56'13" LS y 76°07'04" LO y altitud de 182 m.s.n.m. El clima está clasificado como húmedo tropical (Holdridge, 1967) con una temperatura anual 26,1 °C y un promedio de precipitación pluvial de 2200 mm/año (Amasifuen, 2001; Delgado, 2017), con periodos de lluvias (setiembre - mayo) y periodos de seco (junio - agosto).

Para la colecta del material genético fueron seleccionados aquellas mazorcas que presentaron buen estado sanitario y fueron seleccionados de la parte baja de la planta madre con el fin de que se obtengan semillas de calidad. Posteriormente se procedió a retirar de las semillas realizando un corte longitudinal del fruto, una vez obtenidos las semillas se procedió a limpiarlas, esta acción se realizó manualmente aplicando aserrín para quitar el mucílago. Luego, se colocaron en recipientes de madera envueltos con hojas de bijao (*Calathea lutea*) para que se conserven fresca y aireadas bajo sombra, en donde permaneció hasta la salida de la radícula (entre 24 a 72 horas) para ser colocados en las bolsas con sustrato.

Las semillas con radícula fueron sembradas directamente en bolsas de polietileno a una profundidad aproximado de 1 cm de forma vertical en los tres tamaños y volúmenes diferentes: (a) 15 cm x 22 cm = 1 kg; (b) 14 cm x 30 cm = 1,5 kg; (c) 20 cm x 27,5 cm = 2 kg. El sustrato usado fue tierra negra (tierra vegetal ricos en materia orgánica) y cascarilla de arroz en proporción 2:1 v/v. El vivero se acondicionó con malla Raschel de 60%, para que la intensidad de luz solar no llegue directamente.

Durante el crecimiento de las plántulas en vivero se realizaron trabajos de deshierbo manual de acuerdo a la necesidad y riegos manuales para mantener hidratado a las plántulas. Por otro lado, se aplicaron Cipermetrina 5 ml en 5 L de agua, con la finalidad de controlar con insectos y abono foliar Bayfolan 10 ml en 5 l de agua.

Para las evaluaciones, se muestrearon 4 plántulas por cada tamaño de bolsa. Los muestreos se realizaron a los 15, 45, 75 y 105 días después de sembrados (mayo - junio 2020). Las variables evaluadas fueron: diámetro de la planta (mm) con la ayuda de un vernier digital (KAMASA), altura de plántula (cm), número de hojas, ancho de hoja (cm), longitud de hoja (cm), longitud de raíz principal (cm) y biomasa fresca (g).

La población experimental correspondió a 150 plántulas obtenidos de semillas de cacao criollo, estas fueron colectadas en parcelas de diez años de agricultores en etapa de producción. Para el análisis estadístico se realizaron prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas (Kolmogorov Smirnov y Levene) (Zar, 1999). El

experimento correspondió un Diseño a Completamente al Azar (DCA) de parcelas divididas y fueron representadas mediante gráficos de regresión lineal y polinómica. Estos análisis fueron realizados con la ayuda del lenguaje de programación R- versión 4.0.2 (2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a nuestros resultados, el análisis de varianza (Tabla 1) destaca las diferencias significativas y altamente significativas en las variedades evaluadas de acuerdo al volumen de sustrato utilizado. Así mismo, las presunciones del modelo matemático (independencia, homogeneidad de varianza, aditividad y normalidad) fueron satisfactorios, indicando que las conclusiones derivadas del estudio son confiables. La calidad de precisión de los coeficientes de variación (CV%) indican una precisión experimental dentro del porcentual satisfactorio para ensayos de campo 8,36 a 20,93 indicando una buena confianza en el análisis.

Los resultados del estudio mostraron que el volumen de sustrato tuvo una influencia significativa en el desarrollo de la altura de la planta, diámetro y peso fresco total. La longitud de las raíces de las plántulas disminuyó al contener menor volumen de sustrato. La investigación ha demostrado que la altura de la planta, el número de hojas, longitud de raíces y el peso fresco de toda la planta aumentó según el volumen y los días evaluados. Esto puede deberse al gran volumen de medios de crecimiento que aumentó la disponibilidad de nutrientes, así como la absorción de nutrientes mayores cantidades de sustrato.

Estos resultados ya se evidenciaron en otros estudios (Osorio et al., 2017; Vargas et al., 2020) en donde que confirma evidentemente el crecimiento de plantas de cacao obtuvieron mejores resultados al usar mayores volúmenes de sustrato. Sin embargo, para las variables de número, ancho y longitud de las hojas evaluadas, según el análisis estadístico de Tukey los resultados de las medias no se encontró diferencias significativas.

Los resultados obtenidos para el número de hojas a los 15 días de sembrado el mayor valor promedio se encontró en los volúmenes con sustrato de 1 kg (15 cm x 22 cm), seguido las de 1,5 kg (14 cm x 30 cm) y 2 kg (20 cm x 27,5 cm) con 5,50 y 5,25 respectivamente. A los 45 días, el número de hojas

aumentó en las bolsas de 2 kg, con 11,75, seguido de las bolsas de 1,5 kg y 1 kg con 11 y 10,75. A los 75 días se obtuvo 12,75 en bolsas de 2 kg. Sin embargo, a los 105 días se evidenció que el mayor número de hojas se obtuvo 18,25 en bolsas de 1,5 kg.

Los resultados obtenidos mediante las regresiones lineales evidencian que desde el día 15 hasta el día 105 después de la emergencia en volúmenes de sustrato de 2 kg (20 cm x 27,5) se ha obtenido un mejor ajuste del modelo lineal ($Y = 0,12917x + 3,8125$) con un $R^2 = 0,92$, seguido de el volumen de sustrato de 1,5 kg ($Y = 0,10083x + 5,1375$) con un valor de $R^2 0,87$ (Figura 1).

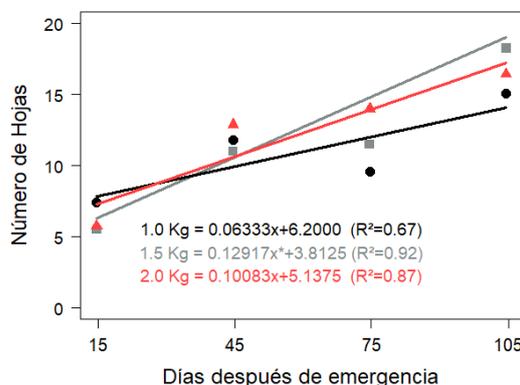


Figura 1. Relación de entre número de hojas y los días de después de la emergencia en los diferentes volúmenes de sustrato (1 kg, 1,5 kg y 2 kg).

Por otro lado, para la longitud de las hojas (cm) a los 105 días de sembrado el mayor promedio se obtuvo en el volumen con sustrato de 1,5 kg con 17,21 cm, a los 15 y 75 días los valores más altos en promedio fueron en los volúmenes de 1 kg, con 14,92 y 15,99. Para los primeros 15 días después de la emergencia en volumen de 2 kg obtuvo el mayor promedio con 11,18 cm.

Tabla 1

Análisis de la varianza para ancho de hojas, longitud de hojas, altura de planta, longitud de raíz y peso fresco total de la planta

Fuente de variación	GL	Esperados Cuadrados Medios							
		Nº hojas	Ancho de hojas (cm)	Longitud de hojas (cm)	Altura de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	Diámetro	Peso fresco total (g)	
DDT	3	193,89 ***	4,93 **	55,15 ***	641,63 ***	112,34 ***	11,13 ***	278,11 *	
Error a	12	8,72	0,53	3,68	20,95	3,81	0,72	73,26	
Volumen de sustrato	2	10,65 Ns	0,20 Ns	3,43 Ns	88,92 ***	10,34 Ns	0,99 *	231,76 ***	
Volumen de sustrato*DDT	6	10,45 Ns	0,35 Ns	3,36 Ns	53,58 ***	10,49 *	0,97 **	29,71 *	
Error b	24	5,22	0,37	2,05	9,83	3,42	0,24	10,56	
Total	47								
CV (%)		20,93	10,51	10,31	9,62	12,47	8,36	14,83	

El mejor ajuste del modelo lineal para esta variable se obtuvo para el volumen de sustrato de 1,5 kg ($Y = 0,06520x + 10,880$) y un $R^2 = 0,94$, es decir, a más días, existe un incremento de la longitud de las hojas. Para los volúmenes de sustrato de 1 kg el ajuste del tipo polinomial ($Y = 0,00136x^2 + 0,2135x + 7,8280$) con valor de $R^2 = 0,99$ y para el volumen de 2 kg fue ($Y = 0,04103x + 10,9155$) con valor de $R^2 = 0,91$ respectivamente. Es decir, es evidente que a partir de los 45 las hojas tienden a tener menor longitud en las hojas (Figura 2).

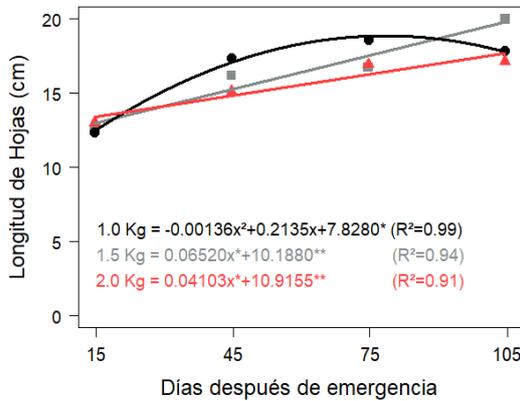


Figura 2. Relación de entre longitud de hojas (cm) y los días de después de la emergencia en los diferentes volúmenes de sustrato (1 kg, 1,5 kg y 2 kg).

Para la variable de altura de las plantas se obtuvieron que a los 15 días después de la emergencia los mayores valores promedio fueron en el volumen de 1 kg con 24,35 cm. A los 45 y 105 días, se evidencia que en el volumen de sustrato de 1,5 kg los mayores valores fueron en promedio fueron, 32,68, y 48,25 y a los 75 días en volumen de 2 kg se obtuvo 37,93 cm.

El mejor ajuste del modelo lineal para esta variable se obtuvo para los volúmenes de sustrato de 1 kg y 1,5 kg ($Y = 0,15003x + 22,7755$) y ($Y = 0,25940 + 19,6855$) con un $R^2 = 0,98$ y $0,97$. Para los volúmenes de sustrato de 2 kg el ajuste de tipo polinomial ($Y = 0,003119x^2 + 0,53393x + 13,7765$) y con valor de $R^2 = 0,93$ respectivamente (Figura 3).

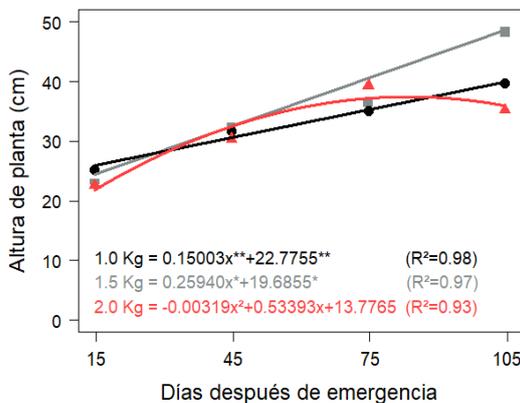


Figura 3. Relación de entre altura de planta (cm) y los días de después de la emergencia en los diferentes volúmenes de sustrato (1 kg, 1,5 kg y 2 kg).

Para la variable longitud de raíz (cm) a los 15 días se evidenció el mayor valor promedio con 12,18 en bolsas de 1 kg, seguido de las bolsas de 2 kg y 1,5 kg, con 11,23 y 9,55 respectivamente (Figura 4). El mejor ajuste se presenta el del tipo polinomial se evidencia con volumen de sustrato de 1,5 kg = 15 cm x 22 cm ($Y = -0,0014x^2 + 0,267x + 5,7524$) y un $R^2 = 0,99$ (Figura 4). Otros estudios han demostrado que las plántulas de bolsas de polietileno con volúmenes menores de sustrato desarrollan una raíz principal deformada o en forma de J (Cedamon et al., 2005). Las plántulas que se cultivaron en las pequeñas bolsas de polietileno tenían un espacio limitado para el crecimiento de las raíces y esto, en consecuencia, afectó el crecimiento general de las plantas en el tiempo. Las plántulas que se cultivaron en las pequeñas bolsas de polietileno tenían un espacio limitado para el crecimiento de las raíces y esto, en consecuencia, afectó el crecimiento general de las plantas en el tiempo. Audet & Charest (2010) también informaron hallazgos similares. Esto puede deberse al espacio limitado con menores volúmenes de sustrato, lo que disminuye el volumen de enraizamiento y restringe el crecimiento de las raíces y, en consecuencia, da como resultado una biomasa vegetal reducida. Las diferencias en la longitud de las raíces en los distintos tamaños de bolsas de polietileno pueden deberse a diferencias en el crecimiento de las hojas y el suministro de nutrientes en las raíces (Adu-Berko et al., 2011). También se observó una mejor absorción de agua y nutrientes que mejoró el crecimiento vigoroso de las plantas en plántulas cultivadas en bolsas grandes (Abugre et al., 2011).

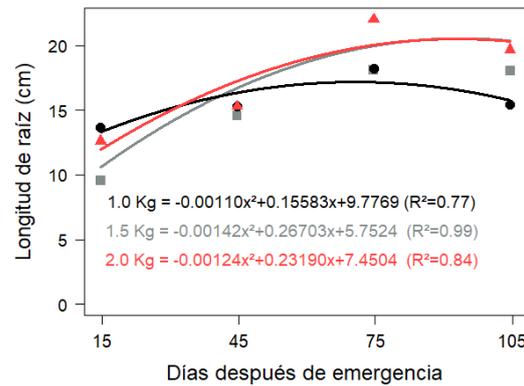


Figura 4. Relación de entre la longitud de raíz (cm) y los días de después de la emergencia en los diferentes volúmenes de sustrato (1 kg, 1,5 kg y 2 kg).

Para el diámetro de la base de la planta (mm) a los 15 días se evidenció el mayor valor promedio con 4,95 en volumen de 1 kg. Sin embargo, a los 45 y 105 días el mayor valor en promedio se obtuvo en volumen de 1,5 kg con 5,84 y 7,63.

El modelo lineal ajustado se obtuvo en las bolsas de 1,5 kg ($Y = 0,03180x + 4,2120$) con un $R^2 = 0,98$ (Figura 5).

Nuestros resultados demuestran que el mejor modelo lineal ajustado se obtuvo en el volumen de

sustrato de 1,5 kg, esto puede ser debido a que relativamente el tiempo de evaluación fue corto (15 a 105) dando mejores condiciones para el crecimiento de la planta. Según Martínez et al. (2015), es importante destacar que el diámetro de tallo presente en el comportamiento del crecimiento de las plantas de cacao, debido a que, a mayor diámetro, también se obtiene mayor cantidad de área foliar.

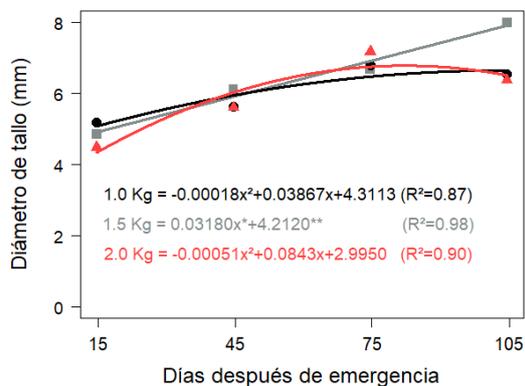


Figura 5. Relación de entre el diámetro del tallo (mm) y los días de después de la emergencia en los diferentes volúmenes de sustrato (1 kg, 1,5 kg y 2 kg).

Sin embargo, para la variable del total de peso fresco de la planta (g) a los 15, 45, 74 y 105 días se evidenció el mayor valor promedio con 16,90; 24,63; 28,11 y 34,25 respectivamente. El mejor modelo lineal en el tiempo evaluado (15, 45, 75 y 105 días) se obtuvo en las bolsas de 1,5 kg ($Y = 0,1851x + 14,867$) con un $R^2 = 0,98$ (Figura 6).

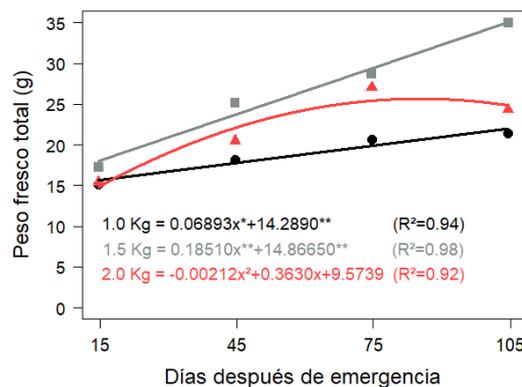


Figura 6. Relación de entre el total de peso fresco (g) y los días de después de la emergencia en los diferentes volúmenes de sustrato (1 kg, 1,5 kg y 2 kg).

CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en la que se condujo este estudio, se concluye que existen variaciones en el crecimiento de las plántulas de cacao de acuerdo a los días que permanecen en los diferentes tamaños de recipientes. Sin embargo, se pudo obtener un mejor comportamiento en los parámetros evaluados en el volumen de sustrato con 1,5 kg, lo que permite definir parcialmente un

estándar de volumen de sustrato a ser usado en viveros bajo las condiciones agroclimáticas de la provincia de Alto Amazonas, región amazónica peruana. Es necesario desarrollar otros estudios experimentos como por ejemplo de cómo estas plántulas de cacao en vivero se comportarían ya establecidas en campo definitivo hasta alcanzar su primera producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abugre, S., & Oti-Boateng, C. (2011). Seed Source Variation and Polybag Size on Early Growth of *Jatropha curcas*. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(4), 39-45.
- Abdulai, I., Hoffmann, M. P., Jassogne, L., Asare, R., Graefe, S., Tao, H. H., & Rötter, R. P. (2020). Variations in yield gaps of smallholder cocoa systems and the main determining factors along a climate gradient in Ghana. *Agricultural Systems*, 18(1), 1-8.
- Adu-Berko, F., Idun, I. A., & Amoah, F. M. (2011). Influence of the Size of Nursery Bags on the Growth and Development of Cashew (*Anacardium occidentale*) Seedling. *American Journal of Experimental Agriculture*, 1(4), 440-441.
- Amasifuen, P. B. (2001). Estudio cuantitativo de la macro fauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*, 12(1-2), 75-97.
- Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V. C., & He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of the Total Environment*, 605, 792-800.
- Audet, P., & Charest C. (2010). Identification of constraining experimental - design factors in mycorrhizal pot-growth studies. *Journal of Botany*, 1-6.
- Bartley, B. G. (2005). The genetic diversity of cacao and its utilization. CABI Editorial.
- Braga, D. P., Domene, F., & Gandara, F. B. (2019). Shade trees composition and diversity in cacao agroforestry systems of southern Pará, Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 93(4), 1409-1421.
- Carr, M. k. V., & Lockwood, G., (2011). The water relations and irrigations requirements of cacao (*Theobroma cacao* L.): a review. *Exp. Agric.* 47, 653-676
- Cedamon, E. D, Mangaoang, E. O., Gregorio N., Pasa, A.E. & Herbohri, J. L. (2005). Nursery management in relation to root deformation, sowing and shading. *Annals of Tropical Research*, 27(1), 1-11.
- Delgado, A., Tantaleán, M., Martínez, R., & Mondragón, A. (2017). Trematodos en *Hoplerythrinus unitaeniatus* (Erythrinidae) «Shuyo» y *Pterodoras granulosus* (Doradidae) «Cahuará» en Yurimaguas, Loreto, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(2), 461-467.
- Edwin, J., & Masters, W. A. (2005). Genetic improvement and cocoa yields in Ghana. *Experimental Agriculture*, 41(4), 491.
- Famuwagun, I. B., & Agele, S. O. (2019). Cacao growth and development under different nursery and field conditions. In *Theobroma Cacao-Deploying Science for Sustainability of Global Cocoa Economy*. Intech Open.
- Hämälä, T., Gultinan, Marden, J., Maximova, S., dePamphilis, C., & Tiffin, P. (2020). Gene Expression Modularity Reveals Footprints of Polygenic Adaptation in *Theobroma cacao*. *Molecular Biology and Evolution*, 37(1), 110-12.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. Trop. Res. Center, San José, Costa Rica. 206 pp.
- Lachenaud, P., Paulin, D., Ducamp, M., & Thevenin, J. M. (2007). Twenty years of agronomic evaluation of wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from French Guiana. *Scientia horticultrae*, 113(4), 313-321.
- López, S. E., & Gil, A. E. (2017). Características germinativas de semillas de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) "cacao". *Arnaldoa*, 24(2), 609-618.
- Martínez, M. R., Mendieta, L. M., & Castellón, O. M. (2015). Prendimiento de dos tipos de injertos en cacao en distintas fases lunares, Siuna, 2014. *Ciencia e Interculturalidad*, 17(2), 92-105.
- Nieves-Orduña, H. E., Müller, M., Krutovsky, K. V., & Gailing, O. (2021). Geographic Patterns of Genetic Variation among

- Cacao (*Theobroma cacao* L.) Populations Based on Chloroplast Markers. *Diversity*, 13(6), 249.
- Oluwalade, I., A. (2018). Sustainable cocoa production and certification. In: A Handbook on Cocoa Production. Akure, Nigeria: Stebak Publisher.
- Oppong, F. K., Opoku-Ameyaw, K., Osei-Bonsu, K., Amoah, F. M., Brew, K. M. & Acheampong, K. (1999). The effect of time of planting at stake on cocoa seedling survival. *Ghana Jnl agric. Sci.*, 32, 79-86.
- Pokorny, B., Robiglio, V., Reyes, M., Vargas, R., & Carrera, C. F. P. (2021). The potential of agroforestry concessions to stabilize Amazonian forest frontiers: a case study on the economic and environmental robustness of informally settled small-scale cocoa farmers in Peru. *Land Use Policy*, 102, 105242.
- 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), 73-82.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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. *Manglar*, 17(2), 127-133.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. 4th ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice-Hall. 662 p.