

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 14; 2026, enero-diciembre






Artículo original

Distintos tipos de sustratos en fase de vivero, en Eucalyptus globulus, en Contumazá, Cajamarca, Perú

Different types of substrates in the nursery phase, in Eucalyptus globulus, in Contumaza, Cajamarca, Peru

Diferentes tipos de sustratos na fase de viveiro, em Eucalyptus globulus, Contumazá, Cajamarca, Peru

Jerson Díaz Castillo¹ , Sergio Valdivia Vega¹ , Jorge Pinna Cabrejos¹ 

¹Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. Perú.

*Autor para la correspondencia: jdiazc18@upao.edu.pe

Recibido: 02/06/2025.

Aprobado: 21/01/2026.

RESUMEN

El eucalipto se adapta fácilmente a las condiciones climáticas peruanas. Esta investigación se desarrolló en el departamento de Cajamarca. El objetivo fue evaluar el efecto de distintos tipos de sustratos (en bolsas de polietileno, a cielo abierto) en la calidad de los plantones. El diseño fue de bloques completos al azar con 15 tratamientos, cuatro repeticiones. Se evaluó el número de hojas, la altura y el diámetro de la base del tallo (DBT) durante cuatro meses, la masa fresca y seca de la parte aérea y radicular, y los indicadores de calidad: índice de Dickson, de esbeltez, relación parte aérea-parte radicular, balance hídrico de la planta y porcentaje de lignificación. Se realizó análisis de varianza y la prueba LSD de Fisher. Ningún tratamiento tuvo los mejores resultados para todas las variables. El tratamiento L (50 % tierra agrícola + 50 % tierra negra) obtuvo



el primer lugar en número de hojas, peso fresco aéreo, peso seco total y peso seco aéreo. El tratamiento G (15 % arena de cerro + 50 % tierra agrícola + 35 % tierra negra) en DBT, peso seco radicular e índice de Dickson. Existió diferencia significativa al utilizar arena de río o de cerro solo en algunos casos. Hubo alta correlación entre el número de hojas y la altura y con los pesos fresco y seco total; radicular y aéreo, y una alta correlación entre la altura y el peso fresco y seco total; radicular y aéreo, índice de Dickson y % de lignificación.

Palabras clave: altura de planta, arena, eucalipto, tierra agrícola.

ABSTRACT

Eucalyptus adapts easily to the climatic conditions in Peru. This research was carried out in the department of Cajamarca. The objective was to evaluate the influence of different types of substrates (in polyethylene bags, in the open air) in the quality of the seedlings. The design was completely randomized blocks with 15 treatments, four repetitions. The number of leaves, height, and stem base diameter (DBT) were evaluated for four months. The fresh and dry mass of the aerial and root parts were evaluated, as well as quality indicators: Dickson's index, slenderness, aerial part-root part ratio, water balance of the plant and percentage of lignification. Analysis of variance was performed, and the Fisher LSD test. No treatment had the best results for all variables. Treatment L (50 % agricultural land + 50 % black soil) ranked first in number of leaves, aerial fresh weight, total dry weight and aerial dry weight. The G treatment (15 % hill sand + 50 % agricultural land + 35 % black soil) in DBT, root dry weight and Dickson index. There was a significant difference when using river or hill sand only in some cases. There was a high correlation between the number of leaves, and the height and with the fresh and dry total weights; root and aerial, and a high correlation between the height and the fresh and dry total weight; root and aerial, Dickson index and % of lignification.

Keywords: Plant height, sand, eucalyptus, agricultural land.



RESUMO

O eucalipto se adapta facilmente às condições climáticas peruanas. Esta pesquisa foi desenvolvida no departamento de Cajamarca. O objetivo foi avaliar a influência de diferentes tipos de substratos (em sacos de polietileno, ao ar livre) na qualidade das mudas. O projeto foi de blocos aleatórios completos com 15 tratamentos, quatro repetições. Avaliou-se o número de folhas, altura e diâmetro da base do caule (DBT) durante quatro meses, a massa fresca e seca da parte aérea e radicular e os indicadores de qualidade: índice de Dickson, de esbeltez, relação parte aérea-radicular, balanço hídrico da planta e porcentagem de lignificação. Análise de variância foi realizada, e o teste LSD de Fisher. Nenhum tratamento teve os melhores resultados para todas as variáveis. O tratamento L (50% de terra agrícola + 50% de terra negra) obteve o primeiro lugar em número de folhas, peso fresco aéreo, peso seco total e peso seco aéreo. O tratamento G (15% de areia de montanha + 50% de terra agrícola + 35% de terra negra) em DBT, peso seco da raiz e índice de Dickson. Houve diferença significativa ao usar areia de rio ou colina apenas em alguns casos. Houve alta correlação entre o número de folhas, e a altura e com os pesos fresco e seco total; radicular e aéreo, e uma alta correlação entre a altura e o peso fresco e seco total; radicular e aéreo, índice de Dickson e % de lignificação.

Palavras chave: Altura da planta, areia, eucalipto, terra agrícola.

INTRODUCCIÓN

El eucalipto *globulus* es una de las especies madereras más sembradas en proyectos de reforestación (Balmelli *et al.*, 2023). Sus hojas contienen aceites esenciales utilizados en la industria química y farmacéutica (Nolazco *et al.*, 2020). La densidad, contenido de lignina y celulosa, longitud y dirección de fibras de su madera hacen que se utilice en la fabricación de papel.

El eucalipto se adapta con gran facilidad a las diversas condiciones climáticas del Perú, siendo 73,2 y 243,8 m³ en la producción de madera rolliza y aserrada, respectivamente, de *Eucaliptus globulus* Labill en el Perú en el año 2023 (SERFOR, 2023).



Era una práctica en los viveros utilizar suelo del lugar para llenar los contenedores en los cuales se producirían los plantones, lo que presentaba baja productividad, y llevó a que se formularan mezclas para la producción de plantas en macetas y se impulsaran investigaciones que permitieran plantones de calidad (Kratz *et al.*, 2017; Rodríguez-Ortega y Briceño-Yen, 2023).

Se utilizan actualmente en los viveros los sustratos, que brindan agua, aire, nutrientes y soporte físico; deben tener acidez apta para la especie, textura liviana, buen drenaje, utilizando, por ejemplo, materia orgánica, arena, tierra agrícola (Rodríguez-Ortega y Briceño-Yen, 2023). Se formulan en base a la disponibilidad de sus componentes, exigencias del productor, la especie a propagar (Quiroz *et al.*, 2009); a sus costos, impacto ambiental que genera su extracción, su disponibilidad y su estandarización (Gayosso *et al.*, 2016).

El sustrato tiene tres fracciones: 1) parte sólida que asegura el anclaje, estabilidad de la planta y el mantenimiento del sistema radicular; se considera la cantidad de nutrientes y su disponibilidad para ser absorbidos por las plantas (Stewart-Wade, 2020). 2) fracción líquida que aporta a la planta el agua y los nutrientes necesarios; 3) parte gaseosa que facilita los intercambios de oxígeno y dióxido de carbono (Stewart-Wade, 2020).

Eucalyptus globulus se desarrolla en viveros con sistema de producción a raíz cubierta en rangos de pH entre 4,5 y 6 (Escobar, 2007); se ve limitado en condiciones de pH extremos. Los sustratos orgánicos mejoran la estructura, el espacio poroso, aumentan la retención de humedad y bajan la densidad, lo que se ve reflejado en una mejor permeabilidad. Durante su descomposición, liberan ácidos orgánicos y dióxido de carbono que reducen el pH, liberando calcio y otros nutrientes, debido a la solubilización de carbonatos y otros minerales primarios.

La capacidad de intercambio debe estar entre 10 y 30 meq 100g⁻¹ de suelo (FAO, 2002). Un sustrato debe estar libre de sustancias fitotóxicas, semillas de malezas, nemátodos y otros patógenos (Quiroz *et al.*, 2009).



El uso de turba puede generar un impacto ambiental negativo en el ecosistema; extraer tierra agrícola para usarla como sustrato podría aumentar la erosión y causar un deterioro físico de los terrenos agrícolas; usar residuos urbanos, ganaderos, agrícolas, forestales o industriales podría generar un impacto ambiental positivo (García *et al.*, 2001).

La arena, por el diámetro de sus partículas, permite buena aireación. Su aireación disminuye con el tiempo por la compactación. Su velocidad de infiltración es alta, su capacidad de retención de agua es media. Debe estar lavada y limpia de limos y arcilla, pues con los riegos se lavarán y colocarán en el fondo del recipiente.

La producción de plantas de eucalipto en vivero tiene tres fases. Primera: comienza con la colocación de la semilla en contenedores y termina con la aparición de las primeras dos hojas verdaderas; determinante para el comportamiento futuro de la planta, ocupa el 70 % del presupuesto destinado a la producción de plantones, dura entre una y cuatro semanas. Fase de pleno crecimiento: Se inicia cuando las plántulas poseen dos hojas verdaderas o han sido inoculadas con micorrizas y termina cuando los plantones tienen la altura deseada; dura entre seis y 24 semanas, y se puede acortar a entre 10 y 12 semanas. Fase de endurecimiento: Su finalidad es frenar el crecimiento apical del plantón para aumentar su resistencia al estrés hídrico antes de almacenarlo o transportarlo; se limita el riego para producir en la planta un estrés hídrico, y presenta mayor resistencia al estrés provocado durante el transporte, sequía o frío (Rodríguez, 2008).

La provincia de Contumazá, en el departamento de Cajamarca, Perú, tiene muchas áreas con plantaciones de *Eucaliptus*. El resultado en campo no es el mejor debido a la utilización de plantones de mala calidad y un manejo forestal deficiente. La solución a este problema debe encontrarse en la fase de vivero, con la obtención de plantas de calidad. El objetivo de este trabajo de investigación es evaluar distintos tipos de sustratos que se utilizan actualmente para la fase de vivero.



MATERIALES Y MÉTODOS

Localización: El trabajo se desarrolló en el vivero de la Agencia Agraria de Contumazá, caserío de Silacot, distrito y provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca. Latitud: -7,365974° S; Longitud: -78,817794° W; 2546 msnm. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar, 15 tratamientos, 4 repeticiones (Tabla 1), cuatro plantas por parcela experimental. Se utilizó semilla de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill).

Tabla 1. Tratamientos

Tratamiento	Arena de río (%)	Tierra agrícola (%)	Tierra negra (%)
A	15	50	35
B	20	40	40
C	30	50	20
D	50	50	0
E	50	0	50
F	100	0	0
Tratamiento	Arena de cerro (%)	Tierra agrícola (%)	Tierra negra (%)
G	15	50	35
H	20	40	40
I	30	50	20
J	50	50	0
K	50	0	50
L	0	50	50
M	100	0	0
N	0	0	100
O	0	100	0

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y, si había diferencias estadísticas significativas, se realizó un agrupamiento por el método de LSD de Fisher con el software Minitab.

Sustratos:

- A. Tierra negra. Proveedores locales la extraen del caserío de Cascabamba con el nombre de turba; se le atribuyen propiedades fisicoquímicas que influirían en el crecimiento de las plantas. Se tamizó para eliminar restos de raíces y terrones.
- B. Tierra agrícola. Se extrajo de una parcela cultivada con arveja (*Pisum sativum*), la cual se encuentra cerca del vivero; se obtuvo de los 40 cm superficiales del terreno. Se tamizó.



- C. Arena de río. Se extrae casi en su totalidad de dos lugares: Chilete, río Jequetepeque, ubicado a 40 km aproximadamente de la ciudad de Contumazá; y del río Chicama, a 60 km aproximadamente. Se extrajo de la ribera del río Jequetepeque.
- D. Arena de cerro. De una cantera artesanal ubicada en el caserío de Salcot. Se tamizó.

Se utilizaron bolsas de polietileno negro de 15 cm de alto por 3 cm de radio.

Almácigo: La preparación de los sustratos se inició con el tamizaje y mezcla de tierra negra y arena. Las camas de almácigo fueron esterilizadas con una solución de formol (250 mL) y agua (16 L). Se llenaron las camas (10 m de largo, un metro de ancho) hasta una altura de 25 cm con el sustrato y se nivelaron. La siembra fue al voleo con un kg de semilla por cama, que se cubrió con medio centímetro de sustrato. Se regó con 10 L de agua con una bomba de mochila. Las camas se cubrieron con un plástico doble en forma de semitúnel. A dos metros de altura se instaló una cobertura de malla *Rashel* (50 % de luz). Una semana después se aplicó *Orius* (fungicida: 2 cucharadas en 6 L de agua). Se realizaron riegos diarios. La emergencia de plántulas fue a diez días de la siembra. Los deshierbos fueron semanales. Las plántulas emergieron hasta los 25 días.

Trasplante: aproximadamente un mes de haber sembrado, plántulas uniformes que tenían de dos a tres pares de hojas se sumergieron en un fungicida para luego ser trasplantadas en bolsas de polietileno. Después de tres días se realizó un nuevo trasplante. Las plantas que no sobrevivieron fueron cinco (2,08 %); a los cinco días se volvió a realizar un segundo trasplante, a tres plantas (1,25 %). Al mes de haber sido instalado el experimento y asegurándose de que las plantas ya habían pasado el proceso de aclimatación, se cambió de lugar el experimento a un espacio con luz solar directa.

Riegos: los riegos se efectuaron inicialmente con un programa llamado *Soil Water Characteristics* hasta que los sustratos estuvieron a capacidad de campo, y después se regó mediante riego en lámina, con la misma cantidad para todas las macetas, dejando un día. Se realizó durante dos meses y medio; sin embargo, para evitar variaciones debido a las características físicas de los sustratos, se realizó el riego hasta que cada



sustrato se encontrara a capacidad de campo. Se realizó desde los dos meses y medio hasta culminar con la fase de campo (cuatro meses y medio).

Deshierbos: se hizo el control de malezas de forma manual, cada 15 días, eliminándolas en el sustrato y también las contiguas a la zona de experimentación para evitar que hospeden insectos que podrían atacar a las plantas.

Control de plagas y enfermedades: Durante la fase de crecimiento lento se pudo apreciar la presencia de *Ctenarytaina eucalypti* en las hojas jóvenes de los ápices; sin embargo, poco a poco se suprimió sin causar daños significativos. Se pudo observar signos de una enfermedad no identificada que causaba deformación y “arrosamiento” de hojas y tallos, así como achaparramiento en las plantas, con mayor incidencia en cinco plantas (2,08 %), por lo que no se aplicó ningún producto al no sobrepasar el umbral establecido (5 %).

Evaluaciones: Se contó el número de hojas verdaderas de cada plantón. Se registró el número de ramificaciones y hojas que iban apareciendo en algunas plantas a partir de la cuarta evaluación (dos meses después del repique). Se midió desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la planta, cada 15 días. Se midió el diámetro base del tallo (DBT), también conocido como diámetro del cuello de la raíz, con ayuda de un pie de rey digital cada quince días, a partir del primer mes.

Después de nueve evaluaciones (cuatro meses y medio), se cortó el tallo, se lavaron las raíces y se pesaron para obtener el peso fresco, en gramos. Para el peso seco de la raíz, se colocó en folders manila y se llevó a la estufa por 1 hora a 100 °C y luego se bajó la temperatura a 75 °C por 48 horas. El peso seco de las hojas y tallo se realizó después de haberlos secado en la estufa. El peso seco total se calculó sumando el peso de la raíz más el peso del tallo y las hojas. Se tomaron muestras de suelo de cada material (tierra negra, arena de cerro, arena de río y tierra agrícola) y se llevaron al laboratorio para determinar sus características fisicoquímicas con el fin de determinar qué material específico es el causante de alguna mejoría en caso de que existiera.

Cálculo de los índices:

Índices de calidad: Índice de calidad de Dickson: $ICD = MST/RAD + RPAR$



Donde: MST: peso seco total (g) (aéreo+ radical). RAD: relación altura (cm)/diámetro (mm).

RPAR: relación peso seco parte aérea (g)/peso seco parte radical (g).

Índice de biomasa Parte aérea–parte radicular (BPA/BPR): se realizó dividiendo la biomasa de la parte aérea entre la biomasa de la parte radicular.

Índice de esbeltez: Se obtuvo dividiendo la altura sobre el diámetro base del tallo. Balance hídrico de la planta (BAP)= (peso seco aéreo (g)/ (DBT x peso seco de la raíz (g)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los componentes de los sustratos

La tierra negra posee 2,91 % de materia orgánica, siendo el más elevado entre los sustratos, la que podría aportar mayor contenido de nutrientes y aumentar la capacidad *buffer* del suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de suelos

MUESTRA	M.O %	P ppm	K ppm	pH 1:1	% SATURAC.	CE _{ES} dS m ⁻¹ (Estimado)	CaCO ₃ %
Tierra negra	2,91	56,30	131,30	4,10	40,0	0,32	0,20
Tierra agrícola	1,65	22,44	366,95	6,17	41,0	1,34	3,88
Arena de cerro	0,45	13,73	102,59	6,10	30,0	0,28	0,00
Arena de río	0,16	11,60	66,08	6,60	31,0	0,51	5,70

La arena de cerro contiene más P y K que la de río; el pH es inferior, como la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE_{ES}) y el % de CaCO₃. Los valores de pH de los materiales varían desde 4,1 (tierra negra), 6,1 (arena de cerro), 6,17 (tierra agrícola) hasta 6,6 (arena de río). Symonds *et al.* (2001) en eucalipto en vivero obtuvieron un mayor crecimiento con valores de pH entre 5,1 y 5,6. La CE del suelo agrícola (1,34 dS m⁻¹) es superior a los demás componentes; en la tierra negra es 0,32 dS m⁻¹. La arena



de cerro posee un superior % de limo y arcilla que la arena de río (Tabla 3). La tierra agrícola se clasifica como franco arcillo arenosa.

Tabla 3. Análisis textural

MUESTRA	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS			TEXTURA (U.S.D.A)
	ARENA	LIMO	ARCILLA	
Tierra negra	62,37	32,50	5,13	Franco arenosa
Tierra agrícola	54,87	25,00	20,13	Franco arcillo arenosa
Arena de cerro	89,95	7,50	2,55	Arena
Arena de río	93,95	4,00	2,05	Arena

Análisis morfológicos (número de hojas, diámetro de la base del tallo, altura)

En el número de hojas (Figura 1), el ANOVA, en la primera evaluación, indicó que no es estadísticamente significativo. Hubo diferencias estadísticas significativas en la segunda, y altamente significativas en las siguientes, por lo que se realizó la prueba LSD de Fisher. A partir de la cuarta evaluación, los tratamientos que no tenían tierra agrícola (E, F, K, M, N) eran estadísticamente inferiores a los otros. En la quinta evaluación, la arena de cerro fue mejor estadísticamente que la de río; en las otras, no hubo diferencias en la mayoría de los tratamientos, hubo variaciones esporádicas en las diferentes evaluaciones entre ambos tipos de arena. La ausencia de tierra negra (D, J) no afecta estadísticamente el número de hojas en la mayoría de las evaluaciones, lo que indica que las propiedades positivas que se le atribuyen en la zona no lo son tanto. En algunos viveros, se suele utilizar el número de hojas como criterio de selección de plantas (Escobar 2007).



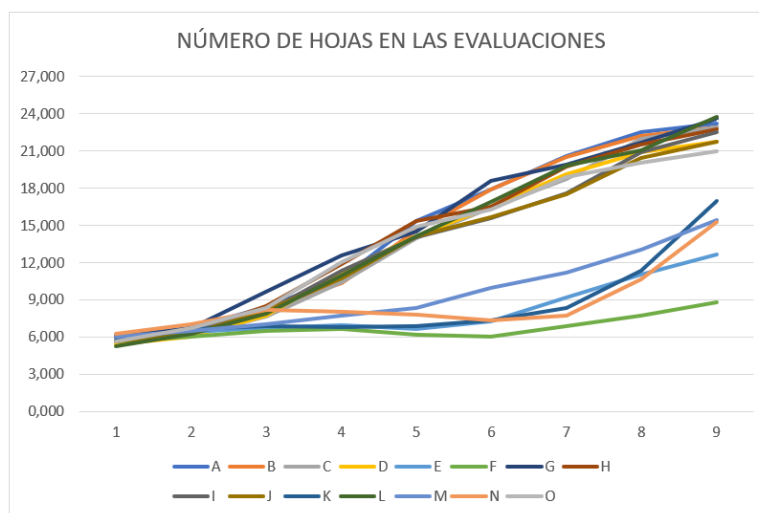


Figura 1. Número de hojas en las nueve evaluaciones

En la segunda evaluación ya se midió el DBT. En todas las evaluaciones, el ANOVA registró diferencias altamente significativas, y al igual que en el número de hojas, a partir de la cuarta evaluación, los tratamientos sin tierra agrícola eran estadísticamente inferiores. En algunas evaluaciones, algunos tratamientos con arena de río fueron mejores que los de arena de cerro; en otras fue, al contrario, no habiendo un mejor comportamiento de ninguna de las arenas. La ausencia de tierra negra no afecta, al igual que en el número de hojas, en la mayoría de las evaluaciones, lo que ratifica que las propiedades positivas que se le atribuyen en la zona no lo son tanto. El DBT es utilizado para determinar la calidad, pues es buen pronóstico del comportamiento de la planta en campo definitivo, especialmente en zonas adversas. Un indicador de calidad es un mínimo de 2,5 mm de DBT (Silva *et al.*, 2014). Los tratamientos que lograron sobrepasar esta barrera en los 120 días evaluados fueron G, L, B, A, H, C, D, O, I, y Silva *et al.* (2014) obtuvieron un DBT de 2,9.

En altura de plantas, en todas las evaluaciones, el ANOVA registró diferencias altamente significativas, y al igual que en número de hojas y DBT, a partir de la cuarta evaluación, los tratamientos que no tenían tierra agrícola eran inferiores a los otros, no habiendo un mejor comportamiento de ninguna de las arenas. La ausencia de tierra negra no afecta, al igual que en el número de hojas y el DBT, en la mayoría de las evaluaciones, lo que ratifica aún más que las propiedades positivas que se le atribuyen en la zona no lo son tanto. La altura presenta altas correlaciones con el número de hojas (Figura 2), que determina los procesos fotosintéticos y la transpiración. Las plantas grandes mejoran la



constitución morfológica y brindan mayor supervivencia y crecimiento en campo definitivo. Sin embargo, tener plantas altas conlleva un mayor tiempo y uso del espacio en vivero, donde el objetivo principal es producir el mayor número de plantas en el menor tiempo y costo posible. En todos los análisis morfológicos, el ANOVA muestra resultados similares: que hubo diferencias estadísticas, siendo la prueba LSD la que muestra quiénes son superiores, encontrándose en todos los casos comportamientos similares, observados en la Figura 1, por lo que no se muestran los datos numéricos de los ANOVA.

En regiones tropicales y subtropicales, la altura de trasplante a campo definitivo está entre 15 y 30 cm, obteniéndose en un periodo de entre 4 y 5 meses. Bajo esta premisa, los tratamientos que podrían ser trasplantados a campo definitivo son: B, L, A, G, H, C, O, D, I y J (con tierra agrícola), considerando que la última evaluación se realizó 120 días después del repique. Silva *et al.* (2014) obtuvieron la mayor altura de su experimento (28,0 cm) a los 90 días.

Peso fresco y seco (total, radicular y aéreo)

Los pesos se aprecian en la tabla 4. En todos los casos, el ANOVA muestra diferencias altamente significativas. La prueba LSD de Fisher indica que las muestras que provienen de sustratos sin tierra agrícola, al igual que lo que se presentó en las evaluaciones de las características morfológicas, son inferiores estadísticamente. Los resultados para las dos arenas son similares a lo ya indicado, al igual que para la tierra negra.

El peso seco del total (tallo y hojas) es una medida más estable que el peso fresco de la planta. 10 de 15 tratamientos analizados en este experimento tuvieron un valor superior a 0,67 g/planta, lo que puede deberse a que en el presente trabajo se evaluó a los 120 días. El peso de las raíces suele ser utilizado para conocer la masa total de las raíces y cuantificar el almacenamiento de fotosintatos por las plantas; sin embargo, no constituye garantía de la cantidad de raíces absorbentes. Ambos pesos tienen una relación altamente significativa con la altura de las plantas (Figura 2) y (Tabla 4).



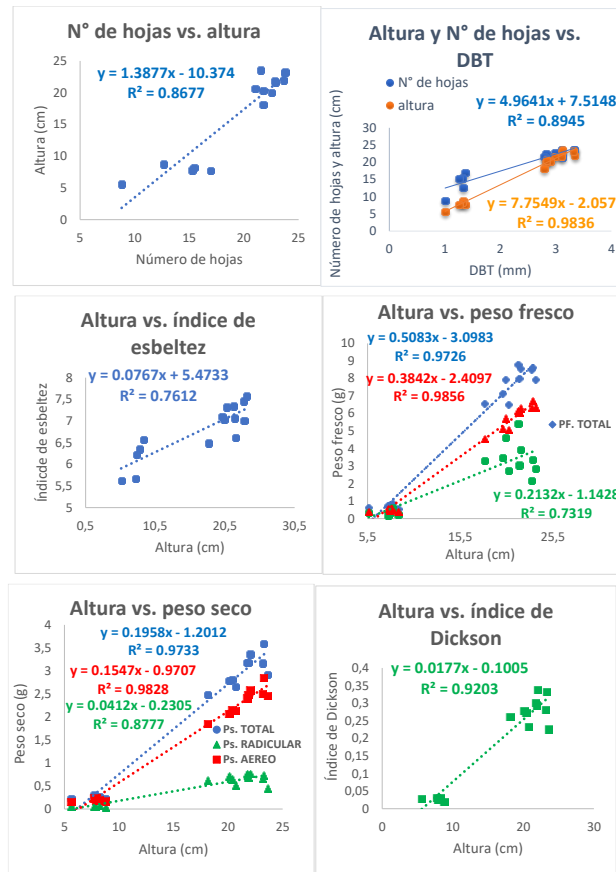


Figura 2. Relación entre los parámetros morfológicos y altura con índice de esbeltez, peso de las plantas e índice de Dickson

Tabla 4. Peso de los plantones al final del experimento (g)

TRATAMIENTO	PESO SECO			PESO FRESCO		
	TOTAL	RADICULAR	AÉREO	TOTAL	RADICULAR	AÉREO
A	3,17	0,67	2,50	8,52	2,19	6,33
B	2,93	0,46	2,47	7,94	1,56	6,38
C	3,14	0,73	2,42	8,81	2,63	6,19
D	2,64	0,48	2,16	7,94	2,19	5,75
E	0,22	0,05	0,18	0,55	0,13	0,42
F	0,24	0,07	0,16	0,61	0,20	0,41
G	3,37	0,78	2,59	8,56	2,25	6,31
H	3,18	0,69	2,49	8,00	1,94	6,06
I	2,79	0,72	2,08	7,13	2,00	5,13
J	2,49	0,63	1,86	6,56	2,00	4,56



K	0,30	0,06	0,24	0,73	0,14	0,58
L	3,60	0,74	2,86	8,63	1,88	6,76
M	0,28	0,08	0,20	0,88	0,34	0,53
N	0,26	0,06	0,20	0,65	0,16	0,49
O	2,66	0,52	2,14	6,52	1,45	5,07

Comportamiento de los índices morfológicos (esbeltez, relación pesos parte aérea parte radicular -PA/PR-, balance hídrico de la planta -BAP-, calidad de Dickson, % de lignificación)

Exceptuado el % de lignificación, el ANOVA muestra diferencias altamente significativas en todos los índices. En el índice de esbeltez, solo hay diferencias significativas con el método LSD de Fisher, con dos tratamientos sin tierra agrícola (K, F), los que tienen el índice más bajo, mostrando plantas más pequeñas, pero más robustas. La esbeltez es un indicador que relaciona la altura con el DBT es decir, que un valor más bajo de esbeltez está vinculado a plantas más robustas y con mayor resistencia al estrés provocado por el trasplante; asimismo, relaciona resistencia con la capacidad fotosintética de la planta (Quiroz *et al.*, 2009). Valores del índice de esbeltez entre 5 y 10 indican una planta de mejor calidad; valores superiores a 10 expresan una planta muy alta respecto al DBT mientras que valores inferiores a 5 indican una planta de baja altura respecto a su DBT (Quiroz *et al.*, 2009). Todos los tratamientos se encuentran dentro del rango óptimo para el índice de esbeltez, pues el más alto (tratamiento B: 7,58) se encuentra debajo de 10, mientras que el más bajo (F: 5,62) se encuentra sobre cinco (Figura 2).

En la relación peso parte aérea / peso sistema radicular, el mayor valor lo alcanzó el tratamiento B (5,51), siendo estadísticamente superior a todos los tratamientos. En el resto, los resultados no muestran ninguna tendencia, ya sea por falta de tierra agrícola o por el tipo de arena o tierra negra. La relación PA/PR ayuda a predecir el desarrollo de la planta en suelos secos. Los valores obtenidos en esta investigación se encuentran por encima de la unidad (el menor F: 2,27); es decir, hubo un deficiente desarrollo radicular. En esta investigación no se aplicó ningún enraizador, fertilizante o microorganismo que favoreciera el crecimiento radicular, ni se ejecutó ninguna práctica agronómica que incrementara la expansión radicular, ya que el objetivo era evaluar solamente la influencia del sustrato en las variables previstas.



En el balance hídrico de la planta (BAP) los tratamientos sin tierra agrícola muestran los resultados más altos en la mayoría de los tratamientos estadísticamente significativos; habiendo solo un tratamiento con arena de río mostrando diferencias significativas (B: valor alto), mientras que en el resto no hay diferencia en los tipos de arena. La tierra negra no muestra ninguna tendencia. El mejor valor (el más bajo) lo obtuvo el tratamiento G (0,9995). El BAP se expresa en términos de masa aérea y radicular con intervención del diámetro de la base del tallo (DBT); predice si la planta se adaptaría a climas de sequía donde la absorción de agua por parte del sistema radicular está controlada por la transpiración de la planta.

El índice de calidad de Dickson muestra parámetros semejantes a los de los índices morfológicos, teniendo diferencias significativas los tratamientos sin tierra agrícola, con valores muy inferiores a los de los otros tratamientos (Figura 2). No hay diferencia entre las dos arenas, y no muestra mayor calidad la tierra negra. El mejor índice de Dickson lo obtuvo el tratamiento G (0,34). El índice de Dickson, que muestra un equilibrio entre la distribución de la masa y la robustez, ayuda a seleccionar plantas más proporcionadas y evitar descartar plantas de menor altura, pero con mayor proporción. Quiroz *et al.* (2009) recomiendan un valor mínimo de 0,2; valores por debajo podrían llevar a problemas en el establecimiento de la plantación en campo definitivo. Los tratamientos que lograron superar este parámetro son G, L, C, H, A, I, D, J, O y B.

Como ya se indicó anteriormente, el porcentaje de lignificación no muestra diferencias significativas al ANOVA, variando los valores entre 31 y 50 %.

La altura es un indicador del grado de desarrollo de una planta, por lo que presenta correlaciones con el número de hojas. En este experimento se ratifica dicha información, encontrándose relaciones estadísticas altamente significativas para la altura con número de hojas y DBT, y con el índice de esbeltez; asimismo, con los pesos y el índice de Dickson (Figura 2); por lo que la altura puede utilizarse para indicar la calidad de desarrollo de los plántones de eucalipto.

En cuanto a los sustratos por elegir, se debe hacer con los que tienen tierra agrícola, escogiendo el más económico, siendo en este caso el que tiene solamente tierra, pero para la elección de un buen sustrato se debe considerar el impacto ambiental que se genera a



partir de la extracción de un material usado como sustrato ya que extracción de la turba negra o agrícola generan erosión y el deterioro físico de los suelos, por lo cual no sería viable para las condiciones de Contumazá producir plantones solamente con tierra agrícola por el impacto ambiental que generaría su explotación. Además, este precio está dado por la cercanía de los lugares de extracción de la tierra agrícola al vivero, pero si se extrae con mayor intensidad, este material escaseará y se tendrá que buscar lugares más lejanos, lo cual incrementará su precio.

No hay diferencias en los sustratos que contienen arena, de río o de cantera, por lo que se deben seguir los mismos criterios ya mencionados, siendo en este caso la más económica la arena de cerro, que es un 33.33% más barata que la arena de río.

CONCLUSIONES

Ningún tratamiento mostró mejores resultados en todas las variables evaluadas.

El tratamiento L (50 % tierra agrícola + 50 % de tierra negra) mostró los mejores resultados en las variables: Número de hojas, peso fresco aéreo, peso seco total y peso seco aéreo.

El tratamiento G (15 % arena de cerro + 50 % tierra agrícola + 35 % tierra negra) mostró los mejores resultados para las variables: DBT, peso seco radicular e índice de Dickson.

En cuanto a la utilización de arena de río vs. arena de cerro existen diferencias significativas solo en algunos casos en las variables evaluadas.

Se encontró alta correlación entre el número de hojas y la altura, así como con los pesos fresco y seco total, radicular y aéreo.

Existe una alta correlación entre la altura y el peso fresco y seco total; radicular y aéreo, índice de Dickson y % de lignificación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALMELLI, G., GASPARRI, P. y MORALES OLMOS, V., 2023. Economic analysis of alternatives for second rotations in *Eucalyptus globulus* plantations in southeast Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, vol. 27, pp. e976-e976. ISSN 2730-5066. DOI 10.31285/AGRO.27.976. Disponible en <https://agrocienciauruguay.uy/index.php/agrociencia/article/view/976>
- ESCOBAR RODRÍGUEZ, R., 2007. Manual de viverización: *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta [en línea]. Chile: CORFO-INFOR. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/17185>.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo [en línea]. Roma: FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/4/s8630s/s8630s00.htm>.
- GARCÍA, O., ALCÁNTAR, G., CABRERA, R.I., GAVI, F. y VOLKE, V., 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana*, vol. 19, no. 3, pp. 249-258. Disponible en https://www.redalyc.org/pdf/573/Resumenes/Resumen_57319306_1.pdf
- GAYOSSO RODRÍGUEZ, S., BORGES GÓMEZ, L., VILLANUEVA COUOH, E., ESTRADA BOTELLO, M.A. y GARRUÑA HERNÁNDEZ, R., 2016. Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, vol. 50, no. 5, pp. 617-631. ISSN 1405-3195. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000500617
- KRATZ, D., NOGUEIRA, A.C., WENDLING, I. y MELLEK, J.E., 2017. Physic-chemical properties and substrate formulation for *Eucalyptus* seedlings production. *Scientia Forestalis*, vol. 45, no. 113, pp. 63-76. Disponible en <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr113/cap06.pdf>



NOLAZCO CAMA, D., VILLANUEVA QUEJIA, E., HATTA SAKODA, B. y TÉLLEZ MONZÓN, L., 2020. Extracción y caracterización química del aceite esencial de eucalipto obtenido por microondas y ultrasonido. Revista de Investigaciones Altoandinas, vol. 22, no. 3, pp. 274-284. ISSN 2306-8582. DOI 10.18271/ria.2020.661. Disponible en <https://huajsapata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/view/99>

QUIROZ MARCHANT, I., GARCÍA RIVAS, E., GONZÁLEZ ORTEGA, M., CHUNG GUIN-PO, P. y SOTO GUEVARA, E., 2009. Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta [en línea]. Chile: INFOR Sede Bío-Bío. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/17366>.

RODRÍGUEZ TREJO, D.A., 2008. Indicadores Calidad Planta [en línea]. México: Editorial Mundi Prensa. [consulta: 4 agosto 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/349119937_Indicadores_Calidad_Planta.

RODRÍGUEZ-ORTEGA, G. y BRICEÑO-YEN, H., 2023. Efecto de Sustratos Enriquecidos con Materia Orgánica en Parámetros de Crecimiento de Bolaina Blanca (Guazuma Crinita C. Martius) en Vivero-Puerto Inca. Folia Amazónica, vol. 32, no. 1, pp. e32665-e32665. ISSN 2410-1184. DOI 10.24841/fa.v32i1.665. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/374597972_EFECTO_DE_SUSTRATOS_ENRIQUECIDOS_CON_MATERIA_ORGANICA_EN_PARAMETROS_DE_CRECIMIENTO_DE_BOLAINA_BLANCA_Guazuma_crinita_C_Martius_EN_VIVERO-_PUERTO_INCA

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE, 2023. Anuario forestal y de fauna silvestre [en línea]. Perú: SERFOR. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1O04sKBjmmMj1r1AqAhRHlgUgyY1lCEW1l/view>.



SILVA, R.B.G. da, SILVA, M.R. da y SIMÕES, D., 2014. Substrates and controlled-release fertilizations on the quality of eucalyptus cuttings. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 18, pp. 1124-1129. ISSN 1415-4366, 1807-1929. DOI <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1124-1129>.

STEWART-WADE, S.M., 2020. Efficacy of organic amendments used in containerized plant production: Part 1 - Compost-based amendments. Scientia Horticulturae, vol. 266, pp. 108856. ISSN 0304-4238. DOI 10.1016/j.scienta.2019.108856. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423819307423>

SYMONDS, W.L., CAMPBELL, L.C. y CLEMENS, J., 2001. Response of ornamental Eucalyptus from acidic and alkaline habitats to potting medium pH. Scientia Horticulturae, vol. 88, no. 2, pp. 121-131. ISSN 0304-4238. DOI 10.1016/S0304-4238(00)00202-8. Available in: https://www.researchgate.net/publication/223706835_Response_of_ornamental_Eucalyptus_from_acidic_and_alkaline_habitats_to_potting_medium_pH

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

