

ARTICULO CIENTÍFICO

Influencia de cinco sustratos en la germinación, crecimiento y biomasa de Toborochi (*Ceiba speciosa*) y Yesquero Blanco (*Cariniana ianeirensis*) en el vivero del Jardín Botánico Municipal de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

Sandra Ramos¹ y Eduardo Sandoval¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Santa Cruz, Bolivia.
ramos.sandra832b@gmail.com

RESUMEN

Identificar un sustrato adecuado constituye un desafío para el viverista, debido a que los requerimientos nutricionales varían entre especies y condicionan el desarrollo de la plántula en vivero. El sustrato desempeña un papel determinante en este proceso, por lo que debe presentar características físicas y químicas óptimas que garanticen la producción de plantines vigorosos y de alta calidad. El presente estudio evaluó el efecto de cinco tipos de sustrato sobre el crecimiento y la biomasa en vivero de plántulas de *Ceiba speciosa* (Toborochi) y *Cariniana ianeirensis* (Yesquero Blanco) en el vivero forestal del Jardín Botánico Municipal de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Se utilizaron mezclas de arena, tierra negra, humus de lombriz, chala de arroz, carbonilla, palizada picada, harina de hueso y celtonita en diferentes proporciones. Las variables de germinación, altura de planta y producción de biomasa aérea y radicular se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia de 0,05 y mediante la comparación de medias de Duncan. Después de 90 días, el sustrato con harina de hueso (S+HAR) y palizada picada (S+PAL) obtuvo los mayores porcentajes de germinación en *C. ianeirensis*, alcanzando hasta un 94 %, mientras que las semillas en tierra negra (TN) germinaron en un 50 %. En *C. speciosa*, el sustrato con harina de hueso obtuvo la germinación más alta con un 82 %, superando a los sustratos con celtonita (S+CEL) y tierra negra, que registraron 43 % y 38 %, respectivamente. El mayor crecimiento en altura se observó en (S+HAR), tanto en *C. speciosa* como en *C. ianeirensis*, mientras que S+PAL presentó los valores más bajos. La biomasa aérea fue superior en (S+HAR), alcanzando 3,37 g en *C. speciosa* y 3,16 g en *C. ianeirensis*, en contraste con los menores pesos en S+PAL y S+CAR. La biomasa radicular, la TN resultó óptima para *C. speciosa* seguido de S+CEL y S+PAL, mientras que en *C. ianeirensis* fue en S+HAR y S+CEL. Estos resultados indicaron que la composición del sustrato influyó significativamente en la germinación, crecimiento y biomasa de ambas especies, destacando el papel del fósforo y la textura de los componentes en la producción de plántulas de alta calidad, contribuyendo al manejo eficiente de viveros forestales y a la mejora de estrategias de restauración y reforestación en especies nativas.

Palabras clave: germinación, jardín botánico, plántulas, semillas forestales, vivero

Influence of five substrates on the germination, growth, and biomass of Toboroichi (*Ceiba speciosa*) and Yesquero Blanco (*Cariniana ianeirensis*) in the nursery of the Municipal Botanical Garden of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

ABSTRACT

Identifying a suitable substrate presents a challenge for the nursery operator, as the nutritional requirements differ among species and influence the seedling development in the nursery. The substrate plays a crucial role in this process, necessitating optimal physical and chemical characteristics to ensure the production of vigorous and high-quality seedlings. This study assessed the impact of five types of substrates on the growth and biomass of *Ceiba speciosa* (Toboroichi) and *Cariniana ianeirensis* (Yesquero Blanco) seedlings in the forest nursery of the Municipal Botanical Garden of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Mixtures of sand, black soil, worm humus, rice husk, charcoal, chopped straw, bone meal, and celtonite were utilized in varying proportions. Germination variables, plant height, and the production of aerial and root biomass were analyzed using an analysis of variance (ANOVA) with a significance level of 0.05, along with Duncan's mean comparison. After 90 days, the substrate containing bone meal (S+HAR) and chopped straw (S+PAL) achieved the highest germination percentages in *C. ianeirensis*, reaching up to 94%, while seeds in black soil (TN) germinated at 50%. In *C. speciosa*, the substrate with bone meal recorded the highest germination rate at 82%, surpassing those with celtonite (S+CEL) and black soil, which recorded 43% and 38%, respectively. The greatest height growth was observed in (S+HAR) for both *C. speciosa* and *C. ianeirensis*, whereas S+PAL exhibited the lowest values. Aerial biomass was highest in (S+HAR), reaching 3.37 g in *C. speciosa* and 3.16 g in *C. ianeirensis*, in contrast to the lower weights in S+PAL and S+CAR. For root biomass, TN proved optimal for *C. speciosa*, followed by S+CEL and S+PAL, while for *C. ianeirensis*, the best results were in S+HAR and S+CEL. These results indicated that the substrate composition significantly influenced the germination, growth, and biomass of both species, emphasizing the role of phosphorus and the texture of the components in the production of high-quality seedlings, thereby contributing to the efficient management of forest nurseries and the enhancement of restoration and reforestation strategies for native species.

Keywords: botanical garden, forest seeds, germination, nursery, seedlings

INTRODUCCION

La producción de plántulas de especies forestales enfrenta como uno de sus principales desafíos la disponibilidad de un sustrato adecuado que permita garantizar germinación, crecimiento vigoroso y desarrollo de biomasa suficiente para su establecimiento en campo. La tendencia actual consiste en emplear mezclas de varios componentes en variadas proporciones que permitan obtener las características físicas y químicas adecuadas para la producción de distintas especies (Grossnickle 2018).

La calidad de los plantines se refleja en su capacidad de soportar el estrés y mantener un crecimiento vigoroso tras la plantación, lo cual depende tanto de la genética de la semilla como del mejor de crecimiento. Aunque el suelo ha sido tradicionalmente el sustrato más usado por su disponibilidad, no siempre es el más adecuado para viveros; por ello, es esencial conocer las propiedades de sustratos alternativos (Maynor 2014).

Actualmente, se utilizan gran variedad de sustratos para la producción de las plántulas, siendo algunos de los conocidos los siguientes: turba, vermiculita, cascarilla de arroz, aserrín, palizada picada, humus de lombriz, celtonita, arena, carbonilla, hojarasca, estiércol, entre otros (Rojas 2015).

Aspectos como el soporte físico, la aireación, la capacidad de retención de agua, porosidad, densidad, contenido y capacidad de liberación de nutrientes y pH son aspectos que deben ser considerados a la hora de seleccionar un determinado sustrato (FAO 2009).

Encontrar un sustrato ideal es una tarea difícil, porque cada especie tiene requerimientos distintos, pero a través de investigaciones científicas es posible hallar un sustrato óptimo que reúna las condiciones mínimas requeridas por las especies a estudiar.

Para el presente trabajo de investigación, se eligieron las especies Toboroichi y Yesquero Blanco porque son considerados con muy buenas aptitudes para el arbolado urbano de plazas, parques y avenidas, debido tanto a su rápido crecimiento como a su porte y beneficios otorgados al ambiente, tradicionalmente embellecedor y de mucha abundancia en nuestra ciudad.

El objetivo de este estudio fue encontrar el mejor sustrato para la producción de Toboroichi (*C. speciosa*) y Yesquero Blanco (*C. ianeirensis*) a nivel de vivero, utilizando arena, tierra negra, cascarilla de arroz, humus, palizada picada, celtonita, carbonilla y harina de hueso como medio de crecimiento en diferentes proporciones.

METODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el área del vivero municipal del Jardín Botánico del Gobierno Municipal de Santa Cruz de la Sierra, durante los meses de diciembre del 2019 a marzo de 2020. Dicho vivero se dedica a la producción de plantines de las diferentes especies de la flora regional nativa. El vivero se encuentra ubicado en el km 12 sobre la carretera a Cotoca ($17^{\circ}46'14,88''$ S, $63^{\circ}3'46,8''$ W), (Figura 1). Aún no existe una estación meteorológica en la misma zona, sin embargo, las estaciones más cercanas reportan una temperatura media anual de 31°C y una precipitación media anual de 1100 mm (SENAMHI 2022), con veranos largos cálidos y mayormente nublados, con inviernos cortos y húmedos, siendo la época seca entre los meses de mayo a octubre.

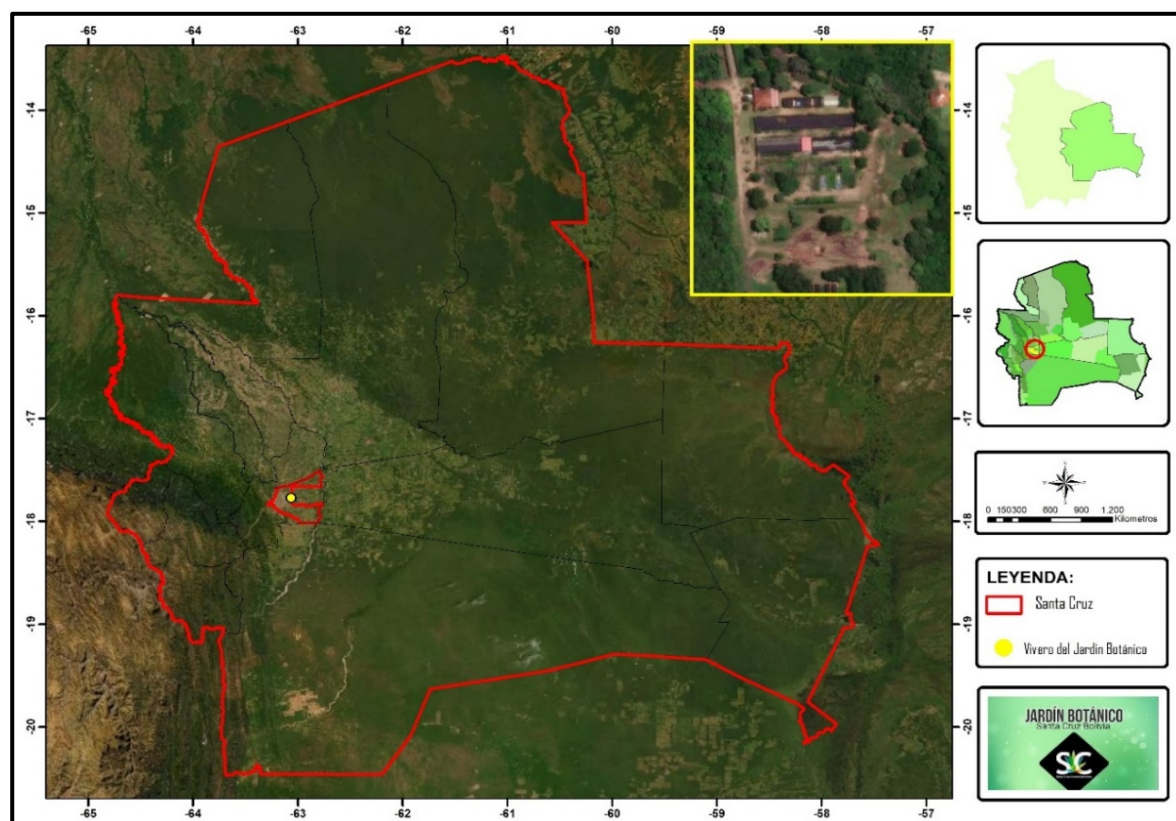


Figura 1: Ubicación del área de estudio, vivero del Jardín Botánico Municipal de Santa Cruz de la Sierra

Especies estudiadas

Toborochi

El Toborochi, *Ceiba speciosa*, de la familia Malvaceae, es una especie que se encuentra distribuida en las regiones húmedas, subhúmedas y estacionalmente secas (Gibbs y Semir 2003); en Santa Cruz, Beni, Pando, La Paz, Chuquisaca Tarija y Cochabamba. Se encuentra en altitudes de 180 a 1420 m (Mostacedo et al. 2003). *C. speciosa* es un árbol deciduo que mide entre 10 y 20 m de altura, con copa corta al principio vertical y después globosa e incluso aparasolada. Su tronco es cónico de color verde y espinoso y la base engrosada. Sus hojas son compuestas de 15 cm, foliolos bastante cactáceos, generalmente aserrados. Florece de enero a mayo, y sus frutos son cápsulas ovoides de color verdoso a pardo, con semillas esféricas y un algodón que se dispersa en el aire al abrirse el fruto. Las semillas son del tamaño de un frijol y de color muy oscuro. Las plántulas tienen las hojas compuestas, palmadas con 5 a 7 foliolos elípticos, el ápice acuminado y el borde aserrado, en individuos menores a 15 cm, el tallo es verde y recubierto de espinas cónicas, de clima cálido, sensible a heladas y resistencia media a los vientos. *C. speciosa*, es poco exigente en cuanto al tipo de suelo, aunque las condiciones más óptimas para su rápido crecimiento son suelos sueltos, mullidos y fértiles. No es muy exigente en cuanto al aporte de nutrientes y puede crecer con la materia orgánica utilizada. Las semillas pueden germinar sin escarificación siempre y cuando cuenten con la humedad y temperatura suficiente para sobrevivir (Mostacedo et al. 2009).

Yesquero Blanco

El yesquero blanco, *Cariniana ianeirensis*, de la familia Lecythidaceae, es característico de climas subtropical, termo tropical estacional, con un rango de precipitación anual entre 1100 y 1550mm, y una temperatura media entre 25 y 29°C (Navarro 1997). *C. ianeirensis* es un árbol grande de hasta 40 m de altura, tallo recto, corteza externa negruzca, fisurada, exfoliada en placas rectangulares, hojas simples alternas sin pelos, tallos fibrosos desde jóvenes y borde aserrado, peciolo corto que es acanalado con unas alitas pequeñas y rojizas, fruto alargado, dehiscente en la base, semillas aladas, florece de octubre a diciembre y fructifica entre junio y septiembre, sus semillas son dispersadas por el viento (Mostacedo et al. 2003). Plántulas de crecimiento lento de hojas simples elípticas, dísticas, aserradas, con lamina decurrente y tiempo de germinación corto, se diferencia de plantines de las anonáceas por no tener olor, y de otras especies por su ramita fibrosa y por no poseer pelos, distribuida principalmente en los bosques húmedos tropicales y subtropicales del centro y norte del país. En Santa Cruz, Bolivia el área de distribución de *C. ianeirensis* comprende las provincias Guarayos, Velasco y Ñuflo de Chaves (Justiniano y Fredericksen 1999). Es una especie parcialmente esciófita, requiere sombra para su regeneración inicial, ya que la tolerancia de los plantines a esta condición es buena (Guzmán 1997). En Lomerío, se ha observado que la regeneración y desarrollo se manifiesta sólo bajo ciertas condiciones de topografía y hábitat, limitándose, casi exclusivamente, a las áreas de cursos de agua y drenaje pluvial y/o freático (bosque higrófilo semideciduo, (Navarro 1995). El requerimiento nutricional o la absorción total de nutrimentos realizados por la planta son principalmente de nitrógeno, fósforo y potasio, calcio y magnesio, que pueden favorecer su tasa de crecimiento. Las condiciones edáficas y climáticas también afectan la disponibilidad de los nutrimentos (Alvarado 2007). Los factores de topografía, precipitación y suelo condicionan aún más la presencia o ausencia y establecimiento de esta especie; los suelos de color rojo, más ácidos y pobres en nutrientes no albergan individuos de esta especie (Justiniano et al. 2001).

Diseño de muestreo y toma de datos

El diseño experimental utilizado fue el modelo aditivo lineal, diseño completamente aleatorizado (Martínez 2013). Para la evaluación de los resultados se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con 5 tratamientos, 2 especies y 3 repeticiones, haciendo un total de 30 unidades experimentales (Cuadro 1), la instalación del experimento se realizó durante los meses de diciembre a marzo. Para la toma de datos se registraron dentro de cada tratamiento, las siguientes variables. Se evaluó el porcentaje de germinación, en base al número de individuos emergidos. También se midió la altura de plántulas, desde la base del tallo hasta la acícula más alta en el ápice medidas con una regla graduada en centímetros. Asimismo, se evaluó la biomasa aérea y radicular, recolectando y pesando 10 muestras por tratamiento y especie. Con la ayuda de una balanza analítica se obtuvo el peso fresco o verde, y para ello se cortó la plántula en dos, a nivel del cuello con la ayuda de un estilete. Para pesar por separado la parte aérea y la raíz, se midieron a su vez con una regla, la longitud el tallo y raíz de forma individual. El peso seco total se obtuvo a partir del secado de las muestras por 72 horas en un horno de secado a 60° C de temperatura.

De ahora en adelante: S+CAR (Tierra negra 40 %, arena de relleno 30 %, chala de arroz 10 %, humus 15 % y carbonilla 5%), S+PAL (Tierra negra 40 %, arena de relleno 30 %, chala de arroz 10 %, humus 15 % y palizada picada 5 %), S+HAR (Tierra negra 40 %, arena de relleno 30 %, humus 15 %, chala de arroz 10 % y harina de hueso 5 %), S+CEL (Tierra negra 40 %, arena de relleno 30 %, humus 15 %, chala de arroz 10 % y celtonita 5 %) y TN (Tierra negra 100%).

Cuadro 1: Distribución de sustrato para cada tratamiento y especie.

Sustratos	Proporciones de Sustratos	Repeticiones	Nº Plantas
S+CAR	Tierra negra 40 %, arena de relleno 30 %, chala de arroz 10 %, carbonilla 5 % humus 15 %.	3	30
S+PAL	Tierra negra 40 %, arena de relleno 30 %, chala de arroz 10 %, palizada picada 5 % humus 15 % .	3	30
S+HAR	Tierra negra 40 %, arena de relleno 30 %, humus 15 %, chala de arroz 10 % harina de hueso 5 %.	3	30
S+CEL	Tierra negra 40 %, arena de relleno 30 %, humus 15 %, chala de arroz 10 % celtonita 5 %.	3	30
TN	Tierra negra 100 %	3	30

Análisis de datos

Los datos obtenidos durante el experimento se procesaron en planillas electrónicas de Excel, a los cuales se les realizó un análisis de varianza ANDEVA, para cada una de las variables registradas; porcentaje de germinación, altura de plántula, biomasa aérea y radicular y la variabilidad existente entre cada factor donde se observaron las diferencias estadísticamente significativas por tipo de sustrato. Adicionalmente se realizó una comparación de medias con el comparador Duncan al 0,05 de significancia; se utilizó el programa INFOSTAT versión 2019 para estos análisis.

RESULTADOS

Toborochoi (*Ceiba speciosa*)

Germinación de semillas

Los resultados mostraron que el número de semillas germinadas por sustratos, fue muy alto a partir del día 15 especialmente en las semillas de *C. ianeirensis*, mientras que el número medio de germinación fue a los 10 días donde la especie *C. speciosa*, tuvo mayor germinación, posterior a esto la germinación se fue reduciendo.

El análisis de varianza (Cuadro 2) respecto al porcentaje de germinación de la especie *C. speciosa*, nos señala que existe diferencias significativas entre los cinco sustratos ($p=0,0001$), y un coeficiente de variación del 12,72 %, lo que indica que al menos un sustrato superó de manera importante a los demás sustratos influyendo en el porcentaje de emergencia.

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad para la comparación de promedios dentro del porcentaje de emergencia, determinó que el sustrato S+HAR (harina de hueso), con letra (C) estadísticamente es superior en germinación llegando a una media de 82,22 %, en cambio el sustrato TN (Tierra negra), alcanzó como promedio 37,78 %, siendo el más bajo (Figura 2a).

Altura de plántulas

El análisis de varianza (Cuadro 2) respecto a la variable altura de la especie *C. speciosa*, señala que existe diferencias altamente significativas entre los cinco sustratos ($p=0,0001$), y un coeficiente de variación del 15,79 %, lo que indica que al menos un sustrato superó de manera importante a los demás sustratos influyendo en la altura de las plántulas.

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad para la comparación de promedios dentro de la variable altura, determinó que el sustrato S+HAR (harina de hueso), con letra "C" estadísticamente superior en altura llegando a una media de 17,47 cm (Figura 2b).

Biomasa aérea

El análisis de varianza (Cuadro 2) respecto a la biomasa aérea de la especie *C. speciosa*, nos muestra que existe diferencias altamente significativas entre los cinco sustratos ($p=0,0003$), y un coeficiente de variación del 31,97%, lo que indica que al menos un sustrato superó de manera importante a los demás sustratos influyendo en el peso foliar de las plántulas.

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad para la comparación de promedios dentro de la variable biomasa aérea, comprobó que el sustrato S+HAR (harina de hueso), con letra "B" estadísticamente es superior al resto logrando alcanzar un peso promedio de 3,37 g, seguido del sustrato TN (Tierra negra 100 %) que mostró un peso promedio de 2,59 g (Figura 2c).

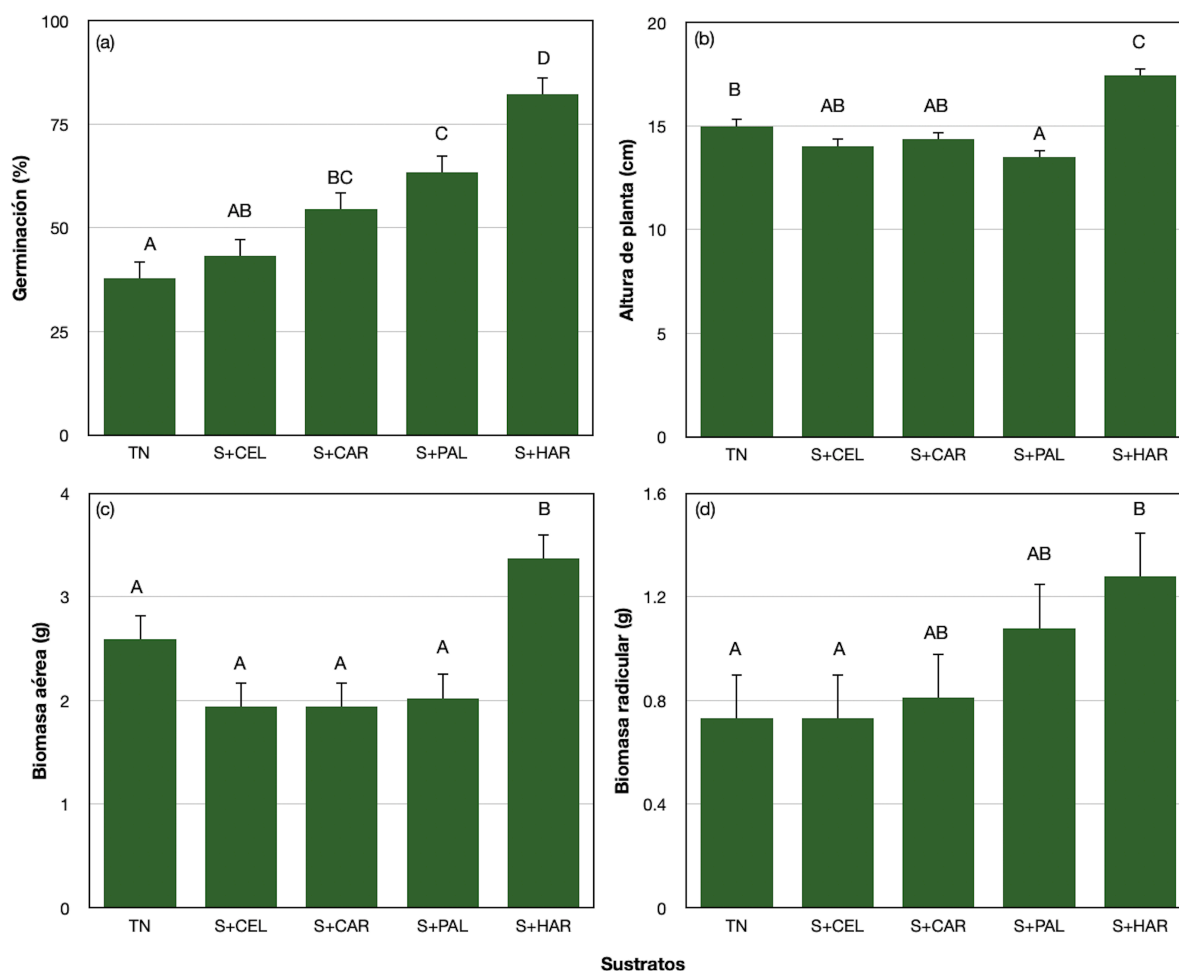


Figura 2. Promedios del porcentaje de germinación de semillas (a), altura de plántulas (b), biomasa aérea (c) y biomasa radicular (d) de *Ceiba speciosa* en diferentes sustratos. Para revisar la simbología de los sustratos, revisar la sección de métodos. Letras distintas significan diferencias estadísticas significativas a un nivel de error de 5%, utilizando el comparador de medias de Duncan.

Biomasa radicular

El análisis de varianza (Cuadro 2) respecto a la variable biomasa radicular de la especie *C. speciosa*, señala que no existe diferencias significativas evidenciando que ningún sustrato es mejor a los otros cinco sustratos ($p=0,0869$), y un coeficiente de variación del 57,09 %, lo que indica que el tipo de sustrato no influyó en esta variable.

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad para la comparación de promedios dentro de la variable biomasa radicular, comprobó que el sustrato S+HAR (harina de hueso), con letra "B" es superior al resto logrando alcanzar un peso promedio de 1,28 g, seguido de los sustratos con palizada picada y carbonilla que presentan valores que no son estadísticamente diferentes (Figura 2d).

Yesquero blanco (*Cariniana ianeirensis*)

Germinación de semillas

El análisis de varianza (Cuadro 3) respecto al porcentaje de germinación de la especie *C. ianeirensis*, señala que existe diferencias significativas entre los cinco sustratos ($p=0,0001$), y un coeficiente de variación del 5,78%, lo que indica que al menos un sustrato superó de manera importante a los demás sustratos influyendo en el porcentaje de emergencia de semillas.

Cuadro 2. Resultados del Análisis de Varianza para determinar el efecto de los sustratos, a los 90 días, en la germinación de semillas, altura de plántulas, biomasa aérea, y biomasa radicular, de la *Ceiba speciosa* (Malvaceae)

Fuente de variación	Sumatoria de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Germinación					
Modelo	3708	4	927	18,1	0,0001
Sustratos	3708	4	927	18,1	0,0001
Error	511	10	51		
Total	4219	14			
Altura de plántulas					
Modelo	447	4	111	20	0,0001
Sustratos	447	4	111	20	0,0001
Error	1134	204	6		
Total	1581	208			
Biomasa aérea					
Modelo	15	4	4	7	0,0003
Sustratos	15	4	4	7	0,0003
Error	26	45	1		
Total	41	49			
Biomasa radicular					
Modelo	2	4	0,60	2	0,0869
Sustratos	2	4	0,60	2	0,0869
Error	12	45	0,28		
Total	15	49			

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad para la comparación de medias dentro del porcentaje de germinación, comprobó que los sustratos con letra "D" no son estadísticamente diferentes, pero numéricamente superior al resto de los sustratos, evidenciando que la influencia de los sustratos S+HAR (Harina de hueso) y S+PAL (Palizada picada) en la germinación de *C. ianeirensis*, fue más notoria en estos (Figura 3a).

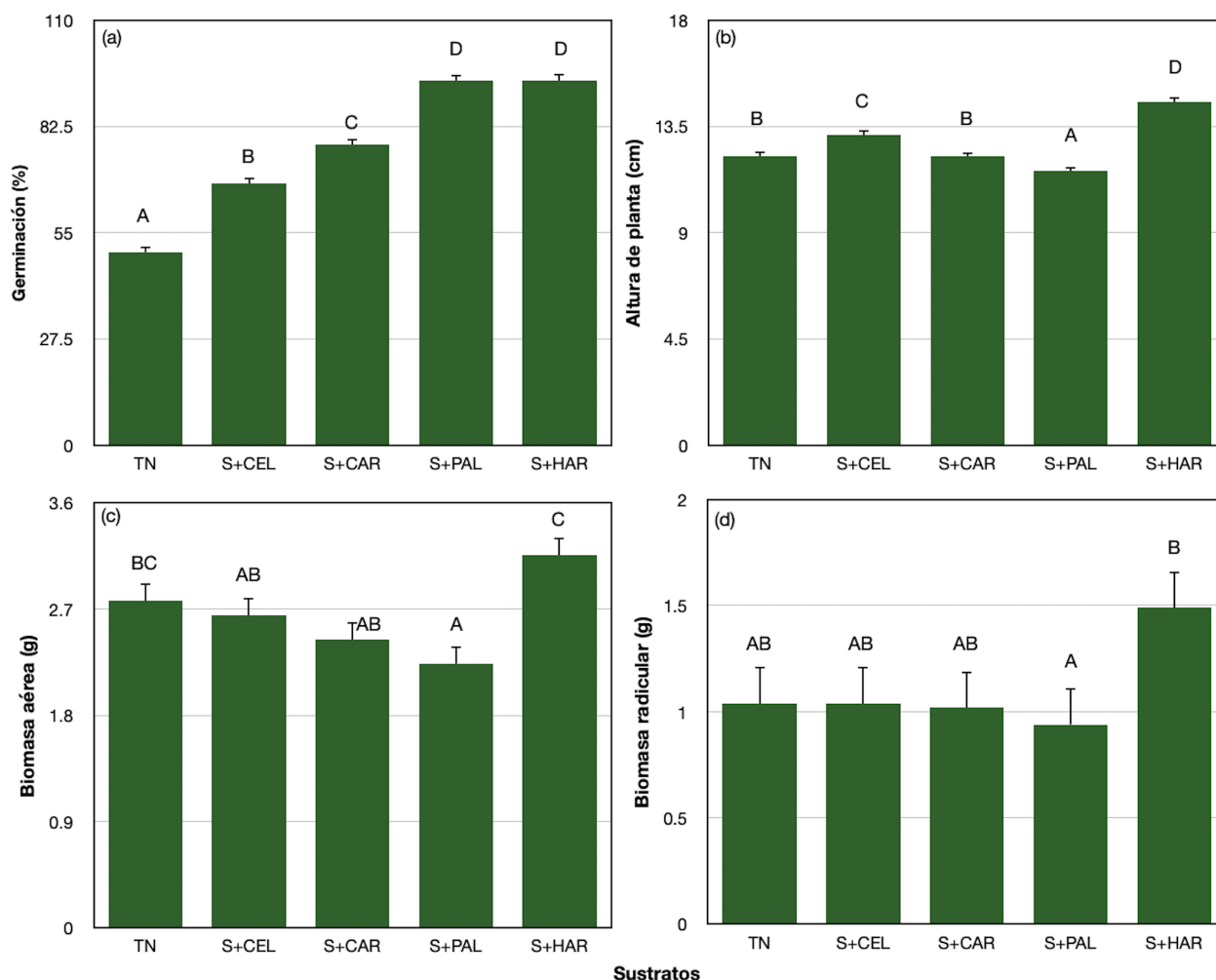


Figura 3. Promedios del porcentaje de germinación de semillas (a), altura de plántulas (b), biomasa aérea (c) y biomasa radicular (d) de *Cariniana ianeirensis* en diferentes sustratos. Para revisar la simbología de los sustratos, revisar la sección de métodos. Letras distintas significan diferencias estadísticas significativas a un nivel de error de 5%, utilizando el comparador de medias de Duncan.

Altura de plántulas

El análisis de varianza (Cuadro 3) respecto a la variable altura de la especie *C. ianeirensis*, muestra que existe diferencias altamente significativas entre los cinco sustratos ($p=0,0001$), y un coeficiente de variación del 12,39 %, lo que indica que al menos un sustrato superó a los demás sustratos, influyendo en el crecimiento y altura de las plántulas. Resultados del

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad para la comparación de promedios dentro de la variable altura, determinó que el sustrato S+HAR (harina de hueso), con letra "D" estadísticamente es superior en altura llegando a una media de 14,56 cm (Figura 3b).

Biomasa aérea

El análisis de varianza (Cuadro 3) respecto a la biomasa aérea de la especie *C. ianeirensis*, muestra que existe diferencias altamente significativas entre los cinco sustratos ($p=0,00019$), y un coeficiente de

variación del 18,49 %, lo que indica que al menos un sustrato superó de manera importante a los demás sustratos influyendo en el peso foliar de dichas plántulas.

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad para la comparación de medias dentro de la variable biomasa aérea, comprobó que el sustrato S+HAR (harina de hueso), con letra "C" estadísticamente es superior al resto logrando alcanzar un peso promedio de 3,16 g, de igual manera que el sustrato TN (Tierra negra 100 %) que mostró un peso promedio de 2,77 g, que dió resultados muy similares (Figura 3c).

Biomasa radicular

El análisis de varianza (Cuadro 3) respecto a la variable biomasa radicular de la especie *C. ianeirensis*, señala que no existen diferencias significativas evidenciando que ningún sustrato es superior a los otros cinco sustratos ($p=0,1624$), y un coeficiente de variación del 47,64 %, lo que indica que los sustratos no influyeron en esta variable.

Análisis de la varianza para la variable biomasa radicular por efecto de los sustratos en la especie *Cariniana ianeirensis*, a los 90 días.

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad para la comparación de promedios dentro de la variable biomasa radicular, mostró que el sustrato S+HAR (harina de hueso), con letra "B" es numéricamente superior al resto logrando alcanzar un peso promedio de 1,49 g, seguido del sustrato con celtonita y tierra negra que presentan valores que no son estadísticamente diferentes, es decir son iguales entre sí, evidenciándose que este sustrato favoreció el desarrollo del sistema radicular de las plántulas, de igual manera que los sustratos con celtonita y tierra negra que mostraron resultados similares a los con harina de hueso (Figura 3d).

DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos en el estudio, para el porcentaje de germinación por efecto de los sustratos, las semillas de *C. ianeirensis*, fueron las que mayor germinación presentaron, corroborando lo que Justiniano y Fredericksen (1999) encontraron sobre las semillas de Yesquero Blanco, que poseen una alta tasa de germinación, entre 70 y 90%.

Fredericksen *et al.* (1998) mencionan que *C. ianeirensis*, presenta la mayor sobrevivencia de las semillas, a diferencia de otras especies, por otra parte, en los resultados obtenidos en este estudio, en el caso de *C. speciosa*, el porcentaje de la germinación fue mucho menor coincidiendo así con lo mencionado anteriormente, cabe reiterar que este ensayo fue dependiente en efecto a su viabilidad de semillas.

La emergencia de semillas se manifestó, aproximadamente, a los 10 días de la siembra, prolongándose hasta 20 días, con el pico de germinación entre el día 15 y el 20, mostrando similitud con los datos obtenidos en el presente ensayo con lo que publicaron Justiniano *et al.*, (2001), quienes manifiestan que *C. ianeirensis*, inicia la emergencia a los 10 días del plantío, prolongándose hasta 30 días.

Pastrana (2007) señala que las semillas de la mayoría de las especies emergen al ser expuestas a condiciones favorables, una de ellas es respetar la profundidad de siembra para cada tipo de semilla, es decir, el doble de su tamaño para no perjudicar al embrión. En el presente estudio se evidenció esta condición, observándose mejores resultados especialmente en *C. ianeirensis* donde la germinación fue más uniforme en comparación con *C. speciosa* que fue notoriamente más desigual.

Cuadro 3. Resultados del Análisis de Varianza para determinar el efecto de los sustratos, a los 90 días, en la germinación de semillas, altura de plántulas, biomasa aérea, y biomasa radicular, de la *Cariniana ianeirensis* (Lecythidaceae)

Fuente de variación	Sumatoria de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Germinación					
Modelo	4516	4	1129	56	0,0001
Sustratos	4516	4	1129	56	0,0001
Error	200	10	20		
Total	4716	14			
Altura de plántulas					
Modelo	361	4	90	36	<0,0001
Sustratos	361	4	90	36	<0,0001
Error	785	313	3		
Total	1147	317			
Biomasa aérea					
Modelo	5	4	1	5	0,0019
Sustratos	5	4	1	5	0,0019
Error	11	45	0,24		
Total	16	49			
Biomasa radicular					
Modelo	2	4	1	2	0,2
Sustratos	2	4	1	2	0,2
Error	12	45	0,28		
Total	14	49			

Burés (2002) menciona, respecto a las alturas, que el sustrato ideal debe proporcionar la máxima cantidad de agua, el mayor volumen de aire, los elementos nutritivos necesarios y que, además, no contenga ningún componente que frene el desarrollo de la semilla y el crecimiento de la planta. De la misma forma, datos que coinciden con las características que aportan los sustratos con harina de hueso ya que estos mejoran la capacidad de intercambio catiónico y favorecen el desarrollo de las paredes celulares, por ende incrementan el tamaño o crecimiento de dichas plántulas.

El crecimiento de las plántulas depende muy probablemente de la especie y del tamaño del árbol, (los árboles grandes tienen mayor área foliar, por lo tanto, pueden crecer más; los árboles grandes crecen mayormente en diámetro y no en altura) con relación a la cantidad de luz que recibe "a mayor intensidad de luz mayor fotosíntesis" (Licona *et al.* 2009). Se evidencia que existe dicho fenómeno ya que en el caso de *C. speciosa*, esta presenta alturas mucho mayores por el mismo hecho de ser una especie de crecimiento rápido y es indiferente al tipo de sustrato ya que este respondió favorablemente en el

sustrato testigo o TN (tierra negra 100 %). Respecto a *C. ianeirensis*, especie de crecimiento moderado, donde el desarrollo fue mayor en su sistema radicular.

A pesar de su crecimiento moderado, *C. ianeirensis*, es la especie arbórea que crece con mayor rapidez entre las que conforman el dosel del bosque semideciduo Chiquitano. El crecimiento inicial de *C. ianeirensis* se facilita gracias a su condición de especie parcialmente esciófita. Posteriormente, el desarrollo continúa, de forma más lenta, hasta que las plantas reciben más luz, lo que aumenta su crecimiento nuevamente (Pinard *et al.* 1996).

En el caso de los sustratos que contienen tierra negra al 100 %, actúan únicamente como soporte de la planta, sin embargo, la especie *C. speciosa*, obtuvo muy buenos resultados con este sustrato a pesar de no tener entre sus componentes a los sustratos que contienen harina de hueso o materiales inertes que intervienen además en procesos de adsorción y fijación de nutrientes, y sus fertilizantes orgánicos que proveen los otros sustratos (Pastor 1999).

Primavesi (1982) se refiere, y hace énfasis, que el crecimiento de las especies en condiciones de vivero está en función a que las plantas logren una adecuada interacción con el suelo, generando un mayor crecimiento ya que de ello dependerá su sobrevivencia en campo, una relación deficiente suelo/planta podría incurrir en pérdida de plántulas como ha sido el caso de nuestro sustrato testigo Tierra negra para la germinación de *C. speciosa*.

Respecto a la biomasa aérea, por influencia de los diferentes sustratos los resultados mostraron que los tratamientos que tienen entre sus componentes la harina de hueso y tierra negra 100 %, fueron los mejores, estos se obtuvieron especialmente en la especie *C. speciosa*. Rodríguez (2008) concluyó que el tamaño de la parte foliar de las plantas posee una relación inversa con la supervivencia, sin embargo, el largo de tallo se correlaciona con el incremento posterior al establecimiento (Thompson 1985).

Los tratamientos con harina de hueso proveen de calcio que necesita la nueva plántula en cantidades menores. En este caso, se usó un 5%, lo que favoreció el incremento del crecimiento de las plantas, jugando así un papel vital. El calcio está involucrado en el alargamiento y división celular, lo que resulta en una formación celular saludable y es crucial en el transporte de nutrientes dentro de la planta (Marschner 2012). Una deficiencia de calcio dentro del suelo, o dentro de la planta, hace que cese el crecimiento de la misma, corroborando que el S+HAR (harina de hueso), es el ideal para este propósito.

Cobas *et al.* (2016), ha estudiado al peso seco como indicador efectivo cuando se relaciona el peso de la parte aérea con el peso del sistema radical, estando también el diámetro correlacionado con estos pesos. La relación Peso aéreo/Peso radicular determina el balance entre la superficie transpirante y la superficie absorbente de la planta, como es el caso de la especie *C. speciosa* que obtuvo longitudes similares tanto en la parte aérea como radicular, garantizando así dicho balance (Quiroz *et al.* 2009).

Respecto a la biomasa radicular el sustrato con mejores resultados fue el tratamiento S+CEL (celtonita 5 %), ya que es un sustrato que está formado por poros de gran potencial que almacenan agua mineral, aire y nutrientes, favoreciendo el crecimiento radicular. Este sustrato crea un efecto de reserva, evitando el lavado de nutrientes por el riego, y disminuye la compactación del sustrato favoreciendo la aireación de la raíz.

A nivel fisiológico, una alta relación raíz/tallo puede dar lugar a relaciones más favorables en la absorción del agua, es decir menor necesidad en sus requerimientos de absorción, y tasas de crecimiento mayores (Close *et al.* 2010). Por otro lado, una mayor biomasa total puede resultar en mayores reservas de carbohidratos disponibles para la movilización o para un rápido crecimiento poco después de la plantación (Quiroz *et al.* 2014).

Una alta correlación entre el peso (biomasa aérea y radical) de la planta con la supervivencia a campo, de la misma manera que con el diámetro del tallo o cuello de raíz, dicho de esta manera los plantines que cuentan con mejores diámetros y sistema radicular soportan mejor los cambios como señala (Sáenz *et al.*

2010)), de la misma manera en nuestro estudio se pudo observar que *C. ianeirensis* cumple con estas características, lo que significa que obtuvo mayor diámetro y longitud radicular y menores proporción en altura.

Las plantas con una relación tallo/raíz más alta sobrevivirán mejor, sin embargo, no siempre una relación alta será un buen indicador de supervivencia para un sitio determinado ya que la parte transpirante de la planta no estará ajustada a la capacidad de absorción, como lo mencionan González y Ferrera (1994). Valores inferiores de tallo/raíz indican una mayor capacidad para superar el momento crítico del arraigo, a menor valor de tallo/raíz más favorecida está la absorción de agua frente a las pérdidas, lo cual es una condición favorable para zonas de baja pluviometría, en el presente estudio las plántulas con dicha relación fueron los tratamientos con S+CEL (celtonita 5 %) y TN (Tierra negra 100 %), garantizando resistencia durante la plantación (Oliet 2000).

Un elemento central en los sustratos con mayor peso de biomasa radicular fue la harina de hueso, que es un fertilizante orgánico alto en fósforo y calcio y es un promotor del crecimiento de raíces, es necesario resaltar que el fósforo estimula la producción de raíces siendo esencial dentro de las plantas para el almacenamiento y la transferencia de energía. Casi todas las reacciones metabólicas en las plantas usan fósforo de una forma u otra, es por ello que el sustrato S+HAR (harina de hueso), fue el mejor para la producción de plántulas de estas dos especies forestales.

Cada especie vegetal crece mejor en un rango de pH determinado, los valores entre 5,5 y 6,5 favorece tanto la solubilidad como la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Ibáñez 2007). Un pH entre 6,5 y 7,0 se considera neutral, con una alta disponibilidad de nutrientes; la actividad bacteriana y de lombrices de tierra es óptima, como es el caso de nuestro tratamiento S+HAR (harina de hueso), que se encontraba dentro de este rango.

Valores bajos de pH ($\leq 5,5$) son indicadores de la presencia de aluminio intercambiable, este inhibe en el desarrollo de las raíces de las plantas, impidiendo que estas penetren más en el perfil y logren obtener agua y nutrientes, lo que podría afectar negativamente el rendimiento de las plántulas como es el caso de los sustratos S+CAR (carbonilla) y S+PAL (palizada picada), quienes tuvieron respuesta más deficiente en las variables de estudio a diferencia del resto.

No obstante, es importante que el análisis químico del suelo se considere como una herramienta útil de diagnóstico, pero de ninguna manera como un medio único para anticipar el desarrollo vegetal o para la prescripción de tratamientos de nutrición (Daniels *et al.* 1985).

CONCLUSIONES

El estudio permitió comprender que la germinación de *C. speciosa* y *C. ianeirensis* no dependen únicamente de la semilla, sino también del ambiente que se crea a través del sustrato. Cuando el medio ofrece nutrientes y una estructura adecuada, las semillas encuentran condiciones más favorables para activarse y desarrollarse. Esto reafirma que el manejo del sustrato es un componente esencial y no solo un soporte físico. Al comparar los diferentes sustratos, se hizo evidente que aquellos con mejor aporte nutritivo ayudan a las semillas a iniciar su metabolismo de forma más eficiente. Esto muestra que la calidad del crecimiento inicial no es un proceso aislado, sino el resultado de cómo interactúan los nutrientes, la humedad y la aireación del sustrato con las necesidades fisiológicas de cada especie. Los materiales orgánicos y minerales utilizados demostraron que, cuando se combinan adecuadamente, pueden mejorar significativamente el ambiente de germinación. Estos componentes no solo aportan nutrientes, sino que también mejoran la estructura física del sustrato, facilitando el desarrollo radicular y permitiendo que las plántulas se establezcan con mayor solidez desde sus primeras etapas. En conjunto, los hallazgos del estudio resaltan que elegir correctamente el sustrato es una decisión clave para producir plántulas fuertes y saludables en vivero. Esta información brinda una guía práctica para futuros programas

de propagación, permitiendo que los viveros optimicen sus recursos y obtengan plantas con mejor capacidad de adaptación al campo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Jardín Botánico Municipal de Santa Cruz de la Sierra, por brindarnos los materiales, herramientas y el espacio dentro de su Vivero para la instalación del experimento del presente estudio. También agradecer al laboratorio de suelos, agua y plantas (LAB-SAP), de la Facultad de Ciencias Agrícolas por brindarnos el área para el análisis de los sustratos, al laboratorio de anatomía de la Madera por facilitarnos sus hornos de secado para nuestras muestras de biomasa. Un sincero agradecimiento al Ph.D. Bonifacio Mostacedo por su valioso apoyo durante la elaboración del documento, sugerencias en el análisis de datos y sus adecuadas observaciones, gracias al Ph.D. Lincoln Quevedo por sus correcciones tan acertadas. Así mismo, gracias al Ing. Darío Melgar y Ing. Alfredo Pérez por el apoyo en la instalación del experimento. Esta investigación es parte de la tesis de grado de la primera autora presentada a la carrera de Ingeniería Forestal-UAGRM.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, H. y E. Raigosa (Eds.). 2007. Fertilidad y nutrición forestal en regiones tropicales. San José, Costa Rica.
- Burés, S. 2002. Horticultura internacional: Sustratos, propiedades físicas, químicas y biológicas. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España.
- Cobas López, M., L. Román Acosta y G. Padilla Torres. 2016. Atributos morfológicos de la planta de *Gmelina arborea* Roxb. cultivada en tubetes. Revista Forestal Baracoa 35: 1-7.
- Close, D., S. Paterson, R. Corkrey y C. McArthur. 2010. Influences of seedling size, container type and mammal browsing on the establishment of *Eucalyptus globulus* in plantation forestry. New Forest 39(1): 105-115.
- Daniels, R.B., J. W. Gilliman, D. K. Cassel y L. A. Nelson. 1985. Soil erosion class and landscape position in the North Carolina Piedmont. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49: 991-995.
- FAO (Eds.). 2009. Guía para la descripción de suelos. Proyecto FAO-SWALIM, Nairobi, Kenya - Universidad Mayor de San Simón, Bolivia. Roma, Italia.
- Fredericksen, T., M. J. Justiniano, D. Rumiz y E. McDonald. 1998. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas: Bibosi higuerón - *Ficus* spp. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- Gibbs, P. y J. Semir. 2003. Revisión taxonómica del género *Ceiba* Mill. (Bombacaceae). Anales Jard. Bot. Madrid 60(2): 259-300.
- González, M. y R. Ferrera. 1994. Interacción de la micorriza V-A y la fertilización fosfatada en diferentes portas injertos de cítricos. Terra Latinoamericana 30: 165-176.
- Grossnickle, S. C. 2018. Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. Forests, 9 (5), 283.
- Guzmán, R. 1997. Caracterización y clasificación de especies forestales en gremios ecológicos en el bosque sub-húmedo estacional de la región de Lomerío, Santa Cruz-Bolivia. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Ibáñez, J. 2007. Biodisponibilidad de los nutrientes por las plantas, pH del suelo y el complejo de cambio o absorbente. Los suelos y la vida. CSIC-Universidad de Valencia, España.
- Justiniano, M. J., T. S. Fredericksen y D. Nash. 2001. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas - Yesquero blanco *Cariniana ianeirensis*. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.

- Justiniano, M.J. y T. S. Fredericksen. 1999. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas, Yesquero blanco (*Cariniana ianeirensis*). Proyecto BOLFOR. P-23. Santa Cruz, Bolivia.
- Martínez, F. 2013. Estadística aplicada a la educación superior (en línea). Escuela Militar de Ingeniería. Santa Cruz, Bolivia. Recuperado de: <http://www.slideshare.net/fmartinezsolariz/Estadistica-aplicada-a-la-educacion-superior>
- Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press.
- Maynor, O. 2014. Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose). Tesis de grado. Universidad Rafael Landívar. Alta Verapaz, Guatemala.
- Mostacedo, B., M. J. Justiniano, M. Toledo y T. S. Fredericksen. 2003. Guía dendrológica de especies forestales de Bolivia. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- Mostacedo, B., Z. Villegas, J. C. Licona, A. Alarcón, D. Villarroel, M. Peña-Claros y T. S. Fredericksen. 2009. Ecología y silvicultura de los principales bosques tropicales de Bolivia. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia.
- Navarro, G. 1995. Clasificación de la vegetación de Lomerío en el departamento de Santa Cruz, Bolivia. Documento Técnico 10. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- Navarro, G. 1997. Contribución a la clasificación ecológica y florística de los bosques de Bolivia. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental 2: 3-37.
- Oliet, J. 2000. La calidad de la planta forestal en vivero. ETSIAM. Córdoba, España.
- Pastrana, A. 2007. Cultivos agroforestales. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Pastor, J. 1999. Utilización de sustratos en viveros. Terra Latinoamericana 17(3): 231-235.
- Pinard, M., R. Guzmán y J. Fuentes. 1996. Clasificación de las especies arbóreas en gremios ecológicos en la zona de Lomerío, Santa Cruz, Bolivia. Boletín BOLFOR 6: 2-4.
- Primavesi, M. (Ed.). 1982. Manejo ecológico del suelo. Librería Nobel S.A., Sao Paulo, Brasil.
- Quiroz, I., E. García, O. González, P. Chung y H. Soto. 2009. Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Concepción, Chile.
- Quiroz, I., M. Pincheira, J. Hernández, M. González, E. García y H. Soto. 2014. Efecto del volumen radicular sobre el crecimiento de *Acacia dealbata* en vivero y en terreno en el secano de la región del Biobío, Chile. Revista Árvore 38(1): 55-164.
- Rodríguez, T. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa. México D.F., México. 156 pp.
- Rojas, N. 2015. Efecto de diferentes tipos de sustratos en el crecimiento inicial de tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) en Tingo María. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva - UNAS. Tingo María, Perú.
- Sáenz, J., H. Villaseñor, A. Muñoz, J. Rueda y Prieto, J. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Uruapan, Michoacán, México.
- SENAMHI. 2022. Datos meteorológicos. Santa Cruz, Bolivia. Consultado el 22 de octubre de 2022. Recuperado de: <http://senamhi.gob.bo/index.php>
- Thompson, B. (Ed.). 1985. Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, OR, USA.