



## RESPUESTA DE TRES ESPECIES MADERABLES DE RÁPIDO CRECIMIENTO A DIFERENTES BIOCLIMAS EN ECUADOR †

### [RESPONSE OF THREE FAST-GROWING TIMBER SPECIES TO DIFFERENT BIOCLIMATES IN ECUADOR]

Roy Vera-Velez<sup>1</sup>, Jorge Grijalva-Olmedo<sup>2</sup>, Raúl Ramos-Veintimilla<sup>3\*</sup>, Franklin Sigcha-Morales<sup>4</sup> and Ricardo Limongi-Andrade<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Plant Sciences, University of Saskatchewan. 51 Campus Drive, C.P. SK S7N 5A8, Saskatoon, Canada. Email: [roy.vera@usask.ca](mailto:roy.vera@usask.ca)

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Central del Ecuador, Jerónimo Leyton y Gato Sobral, C.P. 170521, Quito, Ecuador. Email: [jgrijalva@uce.edu.ec](mailto:jgrijalva@uce.edu.ec)

<sup>3</sup> Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana sur km 1 ½, C.P. 060155, Riobamba-Ecuador. Email: [raul.ramos@esepoch.edu.ec](mailto:raul.ramos@esepoch.edu.ec)

<sup>4</sup> Estación Experimental Santa Catalina, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Panamericana Sur Km 1, C.P. 171101, Mejía-Ecuador. Email: [franklin.sigcha@iniap.gob.ec](mailto:franklin.sigcha@iniap.gob.ec)

<sup>5</sup> Colegio de Ingenieros Agrónomos de Manabí, Avenida Manabí y Granda Centeno, Portoviejo, C.P. 130102, Ecuador. Email: [jricardo.limongi@gmail.com](mailto:jricardo.limongi@gmail.com)

\* Corresponding author

#### SUMMARY

**Background:** The timber sector in Ecuador holds promising potential for growth and development. The intensive utilization of native taxa has depleted their genetic species pool, making them increasingly scarce in meeting the rising demand for wood. Consequently, there has been a growing exploration of new fast-growing forest species to serve as alternatives for lumber and biomass production. **Objective:** To assess the suitability of Andean bioclimatic conditions for the introduction of three tree species: *Paulownia elongata*, *P. fortunei*, and the hybrid *P. elongata* x *P. fortunei*. This work primarily focused in investigating whether plant density impacts the initial growth of individual tree growth and whether there is a co-dependence between site conditions and plant density in each of the three species. **Methodology:** The National Autonomous Institute of Farming Research (INIAP) imported 3000 seedlings, each about 10cm tall, of *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei*, and the hybrid *Paulownia elongata* x *Paulownia fortunei* from the World Paulownia Institute of Georgia - USA. Four experimental sites were selected in two regions of Ecuador: humid tropics (Quevedo and Santo Domingo de los Tsachilas), dry sub-peak (el Almendral) and Andes (Riobamba), each site is located at different altitudes. At each site, the experiment was set up in a spatial split-plot arrangement with randomized complete blocks. Three blocks were established, two planting frames (3x3 m and 4x4 m) and the three selected *Paulownia* species. The three blocks were laid off randomly in each experiment. The two planting frames were randomly placed within each block, and the three species were randomly planted within each planting frame. The experimental subjects (plant species) consisted of nine individuals. **Results:** Plants with higher height and diameter are located in areas with lower elevation, with hybrid Paulownia displaying better performance in high densities. All species showed a survival rate above 85% one-year post-establishment. However, the lowest survival is found in areas above 2000 m. **Implications:** High elevations restrict the individual growth of Paulownia in Andean conditions, but low altitudes enhance it. **Conclusion:** The three specimens performed reasonably well during one-year post-establishment. However, it is necessary to continue observing their growth until they reach their asymptotic point, determining their volumetric yield.

**Keywords:** Timber plantations; Paulownia; rapid growth; establishment.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** El sector forestal tiene gran potencial de crecimiento y desarrollo en Ecuador. El uso intensivo de especies nativas ha conducido a la erosión de su base genética, cuyos ejemplares se han vuelto cada vez más escasos para cubrir la demanda de madera. Esto ha obligado a buscar nuevas especies forestales de rápido

† Submitted April 4, 2023 – Accepted October 2, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4882>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Roy Vera-Velez: <http://orcid.org/0000-0002-4716-4390>; Jorge Grijalva-Olmedo: <http://orcid.org/0000-0001-8301-531X>; Raúl Ramos-Veintimilla: <http://orcid.org/0000-0001-5181-1039>; Franklin Sigcha-Morales: <http://orcid.org/0000-0002-7169-9301>; Ricardo Limongi-Andrade: <http://orcid.org/0000-0001-9478-5301>

crecimiento como alternativas para cubrir la demanda de madera y biomasa. **Objetivo:** Evaluar si las condiciones bioclimáticas tropicales y andinas son adecuadas para el crecimiento de especies de árboles introducidos de *Paulownia elongata*, *P. fortunei*, y el híbrido *P. elongata* x *P. fortunei*. Investigamos si la densidad de plantas afecta el crecimiento individual de los árboles en la fase de establecimiento de la plantación, y si existe una codependencia entre las condiciones de sitio con la densidad de plantas en cada una de las tres especies evaluadas. **Metodología:** El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP) gestionó con World Paulownia Institute de Georgia – USA., la importación de cinco mil plántulas de *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei*, y el híbrido *Paulownia elongata* x *Paulownia fortunei*, de aproximadamente 10 cm de altura. Se seleccionaron cuatro sitios experimentales en dos regiones de Ecuador: Trópico húmedo (Quevedo y Santo Domingo de los Tsachilas), subtropico seco (el Almendral) y estepa espinosa Montano Bajo (Riobamba), cada sitio se localiza a diferentes altitudes. En cada lugar, el experimento se estableció en un arreglo espacial en parcelas divididas con bloques completos al azar. Se instalaron tres bloques, dos marcos de plantación (3x3 m y 4x4 m) y las tres especies de *Paulownia*. Los tres bloques se instalaron aleatoriamente en cada experimento. Los dos marcos de plantación se colocaron al azar dentro de cada bloque, y las tres especies se plantaron aleatoriamente dentro de cada marco de plantación. Los sujetos experimentales (especies de plantas) estuvieron compuestos por nueve individuos. **Resultados:** La media de plantas con mayor altura y diámetro se localizan en zonas con menor elevación, con el híbrido de *Paulownia* mostrando mejor rendimiento en altas densidades. Todas las especies mostraron una sobrevivencia superior al 85% al año de establecimiento, sin embargo, la menor sobrevivencia se encuentra en zonas superiores a los 2000 m. **Implicaciones:** Altitudes elevadas restringen el crecimiento individual de *Paulownia* en condiciones andinas, pero las altitudes bajas lo mejoran. **Conclusión:** Las tres especies mostraron un buen comportamiento durante el primer año de establecimiento, variando según las condiciones ambientales, sin embargo, el híbrido presentó mayor rendimiento a altas densidades, por cuyas razones se deduce la necesidad de prolongar la evaluación de su crecimiento hasta el punto asintótico y determinar su rendimiento volumétrico en esos ambientes bioclimáticos.

**Palabras clave:** Plantaciones forestales; *Paulownia*; crecimiento rápido; establecimiento.

## INTRODUCCIÓN

En Ecuador el sector forestal es una prioridad para las inversiones locales y regionales, constituye uno los componentes de la economía ecuatoriana que ofrece alto potencial de crecimiento (MAE, 2009; MAGAP, 2014; Holguín y Delgado 2018). El aprovechamiento de la madera en Ecuador ha estado enfocado tradicionalmente en especies de árboles nativos e introducidos o naturalizados caracterizadas por un rápido crecimiento (Grijalva *et al.*, 2016). Las cifras oficiales evidencian que el país posee una gran diversidad de especies forestales que alcanza una cifra de aproximadamente 175.000 ha que dan cuenta del gran potencial maderero (MAE, 2018; PROCOMER, 2015) y plantean un reto por la investigación para lograr mayor conocimiento sobre el establecimiento, silvicultura, manejo y utilización con el menor riesgo de impacto ambiental, de múltiples especies forestales. Políticamente, la Dirección Forestal del Ministerio del Ambiente ha señalado la prioridad de fomentar la gestión sostenible de los bosques en aplicación a las políticas nacionales contempladas en la estrategia para el desarrollo forestal sustentable del país y una excelente perspectiva como fuente de divisas (MAE, 2009). Por otra parte, el Ministerio de Agricultura tienen como prioridad de regular las plantaciones forestales y su manejo sustentable con fines comerciales del país, de conformidad con el Plan Estratégico Institucional 2017-2021 (MAG, 2019).

Entre las especies arbóreas comúnmente aprovechadas en la sierra andina se encuentran: pino (*Pinus radiata* D. Don y *P. patula* Schltdl. & Cham) y eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill., *E.*

*urophylla* S.T. Blake x *E. grandis* W. Mill ex Maiden, y *E. saligna* Sm), y la balsa (*Ochroma pyramidale* Cav. Ex Lam. Urb), teca (*Tectona grandis* L. f.), laurel (*Cordia alliodora* Ruiz & Pav. Cham), Pachaco (*Schizolobium parahyba* Vell. S.F. Blake) y melina (*Gmelina arborea* Roxb) en la región tropical (MAGAP, 2013; MAE 2010, citado por López y Muñoz, 2017). Según varios autores, el uso intensivo de esas regiones de importancia forestal y una inadecuada selección de árboles parentales, son factores que han provocado degradación de su limitada base genética en el país, provocando una disminución de la producción de madera para aserrado o sector energético industrial y de biomasa (Lascano, 2008; Prado *et al.*, 2010; Limongi *et al.*, 2011; Alfonso-Corrado *et al.*, 2014). Tal panorama motivó a la institución forestal del país, la búsqueda e investigación para identificar otras especies forestales con características de rápido crecimiento que contribuyan a la producción maderera para abastecer la creciente demanda local y la exportación.

*Paulownia* spp. es el único género con especies arbóreas de la familia Pauloniaceae las cuales son principalmente herbáceas (Martínez *et al.*, 2009; García-Lahera, 2010). Varios investigadores, entre ellos Zhu *et al.*, (1986) indican que nueve especies de este género son nativos de China mientras que *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl se extiende hasta Vietnam y Laos, y *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud, puede ser localizada en Korea y Japón. Específicamente, para proyectos forestales las especies más utilizadas son *Paulownia elongata* S. Y. Hu, *Paulownia fortunei* y *Paulownia kawakamii* T. Itô debido a sus características de rápido

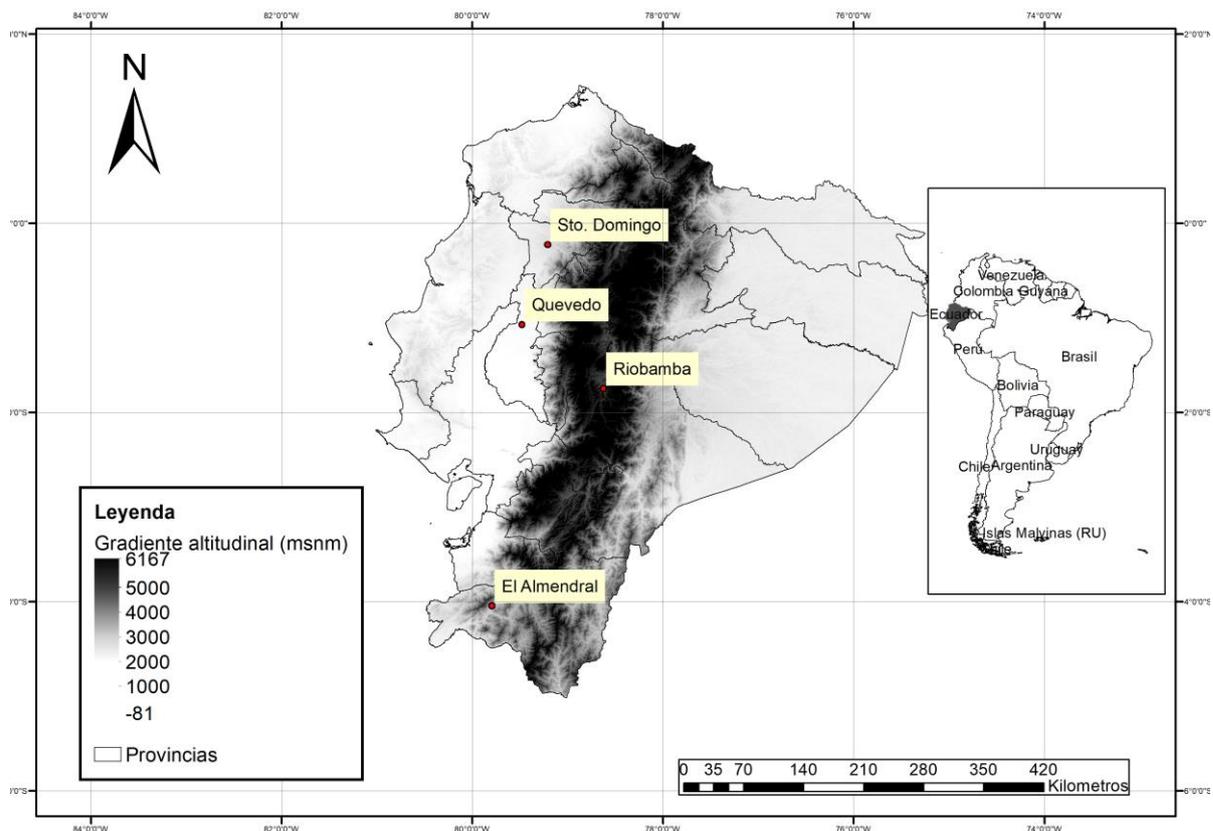
crecimiento y alta plasticidad para adaptarse a condiciones variadas de sitio (Lucas *et al.*, 2011). En ambientes adecuados, árboles de *Paulownia* pueden alcanzar volúmenes de madera de 4 a 4.5m<sup>3</sup> y crecimiento anual 3 a 4 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP ~ 1.30 m desde la base del suelo) hasta 30 – 40 cm de diámetro en diez años (Zhu *et al.*, 1986; Lucas *et al.*, 2011; Icka *et al.*, 2016). Tales atributos se pueden apreciar en la excelente calidad de su madera y un rendimiento formidable en la producción de biomasa (Jakubowski, 2022), destacado aporte en la fijación de CO<sub>2</sub>, potencial uso de su follaje para alimentar ganado y principalmente para programas de repoblación de tierras (Wayne y Donald, 2004).

Todas las características anteriores hacen de los árboles de *Paulownia* una alternativa interesante para los programas forestales orientado a la obtención de madera y forraje. No obstante, estudios de adaptabilidad están concentrados en Europa y Norteamérica (Fernández *et al.*, 2017; Pástor *et al.*, 2022), mientras que en América del Sur son escasos. Particularmente en Ecuador existe solo un registro de investigaciones relacionadas sobre estas especies arbóreas a tratamientos silviculturales (Ramos *et al.*, 2020). Por lo tanto, esta investigación evalúa si las condiciones bioclimáticas tropicales y andinas son adecuadas para el crecimiento de árboles de *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei*, y el

híbrido *Paulownia elongata* x *Paulownia fortunei*. Específicamente, si la densidad de plantas afecta el crecimiento individual de los árboles en la fase de establecimiento de la plantación; además se evaluó si existe una codependencia entre las condiciones de sitio (ambientes) con la densidad de la plantación en cada una de las tres especies seleccionadas de *Paulownia*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la conducción de la investigación, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) gestionó con el World Paulownia Institute de Georgia – USA., la importación de cinco mil plántulas de *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei*, y el híbrido *Paulownia elongata* x *Paulownia fortunei*, de aproximadamente 10 cm de altura. Estas plantas se mantuvieron en invernadero durante cuatro semanas a 25 ±2 °C, 80% de humedad relativa y riego dos veces por semana (100 ml planta<sup>-1</sup>). Este procedimiento permitió que las plantas se adaptaran a las condiciones locales previo al trasplante a los sitios experimentales. Se seleccionaron cuatro sitios experimentales en tres regiones de Ecuador (Fig. 1). Dos de los sitios son de propiedad del INIAP (El Almendral y Quevedo), uno de la Universidad Tecnológica Equinoccial (Santo Domingo) y un tercero de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH (Riobamba).



**Figura 1.** Mapa de Ecuador mostrando la localización de cada sitio experimental y la gradiente altitudinal. Quevedo y Sto. (Santo) Domingo se ubican en el trópico húmedo, mientras que El Almendral y Riobamba en territorios altos y secos de la región andina (ver Tabla 1).

Cada sitio se localiza a diferentes altitudes y con bioclimas que se describen en la Tabla 1. En cada lugar, el experimento se estableció en un arreglo espacial en parcelas divididas con bloques completos al azar. Se instalaron tres bloques, dos marcos de plantación (3x3 m y 4x4 m) y las tres especies de *Paulownia*. Este diseño permitió optimizar el material vegetal y el espacio del terreno. Además, con este arreglo se evitó la influencia adicional de la pendiente del terreno. Los tres bloques se instalaron aleatoriamente en cada experimento. Los dos marcos de plantación se colocaron al azar dentro de cada bloque, y las tres especies se plantaron aleatoriamente dentro de cada marco de plantación. Los sujetos experimentales (especies de plantas) estuvieron compuestos por nueve individuos con una hilera adicional de la misma especie para evitar efecto de borde.

El registro de datos consistió en la medición de la altura de planta, diámetro del tallo y sobrevivencia de forma mensual a partir de los 5 meses después del trasplante a campo, en cada parcela o sitio de muestreo. La altura de planta se registró utilizando una regla de 3 metros, midiendo desde el cuello de la planta hasta el ápice más alto de la copa de cada árbol. El diámetro del tallo se midió a 5 cm del cuello de la raíz (DAC). Finalmente, la sobrevivencia de plantas se registró en porcentaje basado en las plantas vivas sobre el total plantadas.

Los datos se analizaron mediante la aplicación de un modelo lineal mixto utilizando la función *lme* en la librería *nlme* (Pinheiro et al., 2017). Este procedimiento estadístico nos permitió incorporar efectos aleatorios para lidiar con pseudo-réplicas temporales y espaciales propias de diseños en parcelas divididas con mediciones continuas en el tiempo sobre el mismo individuo. Las variables de respuesta fueron: altura de la planta, diámetro del tallo y sobrevivencia de plantas. Por consistencia, nosotros aplicamos el mismo modelo lineal a la variable sobrevivencia de plantas; sin embargo, al tener distribución binomial, fue transformada aplicando el arco seno a la raíz cuadrada de cada valor porcentual; de esta manera, la sobrevivencia de plantas en porcentaje pasa teóricamente a ser de distribución normal. La estructura fija del modelo se conformó por el sitio (4 localidades - bioclimas),

tiempo de evaluación, tres especies de *Paulownia*, marco de plantación y todas las interacciones de las anteriores. En la sección aleatoria del modelo se introdujeron el marco de plantación dentro del bloque y estos dentro del tiempo (evaluaciones mensuales). Adicionalmente se incluyó una estructura aleatoria en el modelo para equiparar los pesos de la varianza por cada sitio experimental (Zuur et al., 2007).

La relación no lineal de la altura de planta con la altitud o elevación también fue analizada mediante un modelo cuadrático simple. Para ello, la altura de cada planta (como variable respuesta) fue ajustada en función de la elevación de forma lineal y con el cuadrado de la elevación como covariable para ajustar la relación no lineal, según la siguiente fórmula:

$$Y = a + bx + cx^2 + e$$

Donde 'Y' representa la altura de cada planta; 'a', 'b' y 'c' como los parámetros de la ecuación a ser calculados, y 'x' la variable independiente (elevación) tomando tanto la forma lineal y no lineal; 'e' = error.

Los residuos de todos los modelos fueron evaluados en términos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Finalmente, los factores fijos y sus interacciones que resultaron significativos ( $p < 0,05$ ) fueron sometidos a una prueba post-hoc para identificar los niveles de las categorías que contribuyen a tales diferencias. La prueba de post-hoc fue desarrollada con el utilitario 'glht' en la librería 'multcomp' (Hothorn et al., 2016). Todos los procesos estadísticos se realizaron en el software R (R Core Team, 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La búsqueda de nuevas alternativas de especies arbóreas maderables con características de alta productividad ha sido una actividad continua durante las últimas décadas. Las características más apreciadas para las diferentes especies maderables se definen particularmente en la calidad y belleza de la madera; sin embargo, hoy en día, el rápido crecimiento

**Tabla 1 Parámetros ambientales de cada sitio experimental.**

	<b>El Almendral</b>	<b>Quevedo</b>	<b>Santo Domingo</b>	<b>Riobamba</b>
Región	Sub-trópico seco	Trópico húmedo	Trópico húmedo	estepa espinosa Montano Bajo
Elevación (m.s.n.m.)	1150	75	500	2780
Precipitación media anual (mm)	500	2000	3500	835.6
Temperatura media anual (°C)	23	24.5	23.4	13.8
Humedad Relativa media anual (%)	60	83	94	83

Fuente: INIAP (2015).

de los individuos también es un aspecto de gran interés. Precisamente, las especies maderables pertenecientes al género *Paulownia* parecen tener las características anteriores combinadas en su estructura genética, lo que, sumado a la alta plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales, las hacen de alto interés para plantaciones forestales. Sin embargo, en este estudio se ha encontrado que las diversas condiciones ambientales tanto andinas como tropicales, y las densidades de plantas explicaron una variable respuesta en términos de crecimiento de las tres especies de árboles de *Paulownia* estudiadas.

El sitio, tiempo de evaluación y marco de plantación ejercieron un efecto significativo (p-value <0.0001) en las variables altura de la planta y diámetro del tallo (Tabla 2, Fig. 2). Altura y diámetro difirieron también entre las especies evaluadas de *Paulownia*, pero en dependencia del marco de plantación, tiempo de evaluación y el sitio (Tabla 2, Fig. 3). En general, la media de plantas con mayor altura (620.42±144 cm) y diámetro (14.2±3 cm) se encuentran localizadas en zonas con menor elevación asociadas a climas tropicales o subtropicales (Tabla 3, Fig. 4). Por otra parte, todas las especies mostraron una sobrevivencia de más del 85% al año de establecimiento; sin embargo, la menor sobrevivencia se encontró en zonas con altitudes superiores a los 2000 m.s.n.m (Tabla 3).

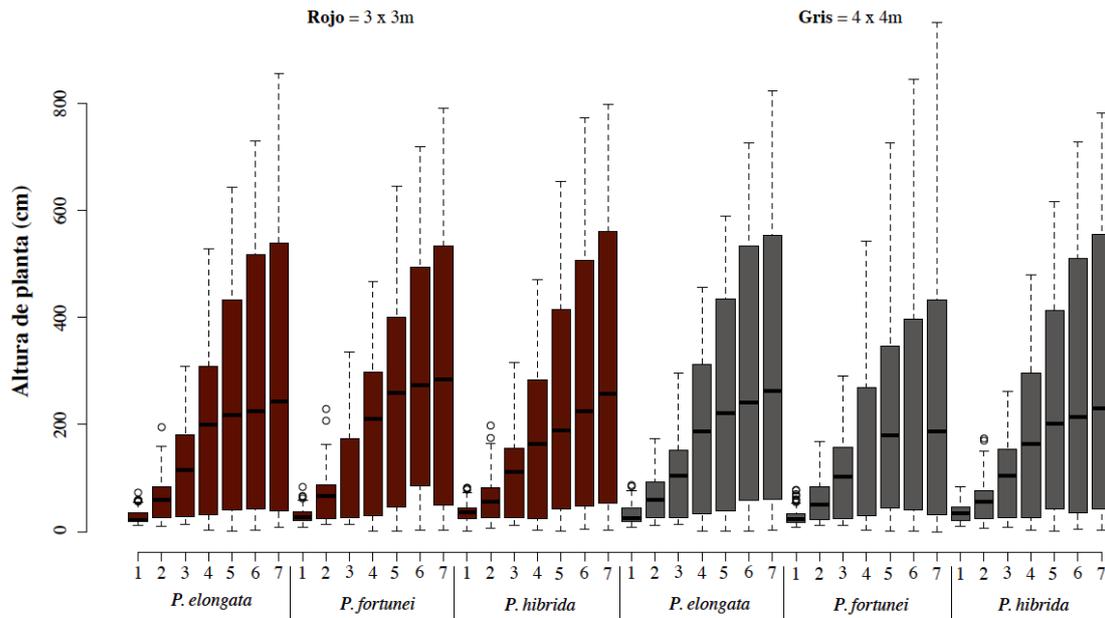
La altura y diámetro de la planta de las especies de árboles de *Paulownia* responde de manera diferenciada a las condiciones climáticas. Este

estudio evidenció que la altura de la planta varió de ~21 cm a ~600 cm en el primer año de establecimiento. Así, independientemente de la especie, existe una alta influencia del ambiente en el crecimiento de las plantas (Guilcapi, 2015; Guzmán, 2015; Rodes, 2015; Zambrano, 2015). Estas diferencias podrían estar relacionadas principalmente con la altitud y lógicamente a la temperatura, que parece también definir la sobrevivencia de las plantas (Tabla 3, Fig. 3) más que con otros factores, como la precipitación. Por lo tanto, las zonas altas y más templadas pueden ser limitantes para las plantaciones de este género. Sin embargo, aunque la variabilidad por cada sitio es evidente, los resultados también sugieren un crecimiento notable (> 150 cm) en zonas de baja altitud (< 1000 m.s.n.m.) en comparación con otras zonas plantadas con la misma especie. Por ejemplo, Lucas-Borja *et al.*, (2008) mencionaron que las plantas del género *Paulownia* en España pueden desarrollar hasta ~100 cm de altura en el primer año. De manera similar, en China, Zhu *et al.*, (1986) encontraron promedios de altura de ~200 cm en los primeros cinco años de establecimiento. Por lo tanto, los sitios tropicales y subtropicales pueden favorecer el rápido crecimiento de las especies de *Paulownia* y convertirse en una buena alternativa para las plantaciones con aptitud maderable del país, aunque un nuevo desafío interesante para investigación puede surgir en torno a los impactos de plantaciones futuras con estas especies, particularmente sobre la diversidad de especies nativas y endémicas, y también sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

**Tabla 2 Resumen de los resultados de la significancia de cada parámetro fijo y aleatorio analizado con modelos mixtos para las variables altura de planta, diámetro de tallo y sobrevivencia.**

Efectos fijos	gl	Altura de Planta		Diámetro de tallo		Sobrevivencia	
		F-value	p-value	F-value	p-value	F-value	p-value
(Intercept)	1	4220.3	<0.0001	709.1	<0.0001	106.8	<0.0001
Sitio	3	5934.6	<0.0001	5998.1	<0.0001	798.5	<0.0001
Evaluación – tiempo	6	28.5	<0.0001	85.4	<0.0001	10.25	0.0003
<i>Paulownia</i> spp	2	1.99	0.1365	1.1	0.3298	0.3	0.7346
Marco de plantación	1	7.5	0.0124	4.3	0.0569	0.4	0.5475
S x E	18	475.1	<0.0001	451.8	<0.0001	41.1	<0.0001
S x P	6	5.7	<0.0001	8.1	<0.0001	15.8	<0.0001
S x M	3	7.5	0.0001	7.9	<0.0001	49.2	<0.0001
E x P	12	0.4	0.9407	1.8	0.0338	1.5	0.1257
E x M	6	0.5	0.7710	1.1	0.4326	0.5	0.7989
P x M	2	0.5	0.5664	5.9	0.0027	85.4	<0.0001
S x E x P	36	0.7	0.8848	0.6	0.9577	3.7	<0.0001
E x P x M	12	2.5	0.0022	1.9	0.0233	8.3	<0.0001
S x P x M	6	6.5	<0.0001	4.9	0.0001	83.1	<0.0001
S x E x M	18	0.7	0.7267	0.6	0.8409	3.7	<0.0001
S x E x M x P	36	0.41	0.9993	0.4	0.9994	7.2	<0.0001
Efectos aleatorios		Std. dev.	Residual	Std. dev.	Residual	Std. dev.	Residual
Bloque		0.38		0.41		0.10	
Tiempo		0.001		0.0004		0.20	
Marco de plantación		0.74	61.14	0.31	11.8	0.49	1.60

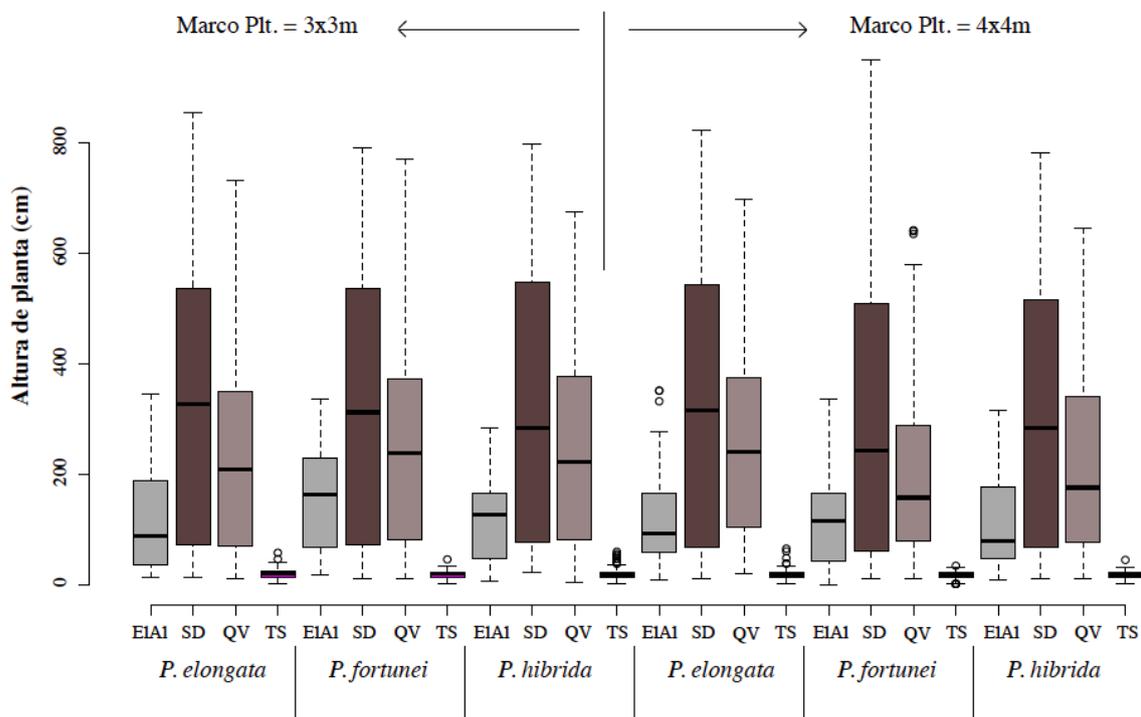
\* S = Sitio; E = Evaluación; P = *Paulownia*; M = Marco de plantación



**Figura 2.** Diagrama de la altura de planta en cm de *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei*, y el híbrido *Paulownia elongata* x *Paulownia fortunei*, a lo largo de 7 evaluaciones mensuales bajo 2 densidades de plantación.

La altura de la planta también está influenciada por el marco de la plantación implementado durante el primer año de establecimiento. Estas diferencias, sin embargo, parecen estar particularmente enfocadas en el híbrido (*P. fortunei* x *P. elongata*), lo que sugiere que una competencia importante entre árboles puede

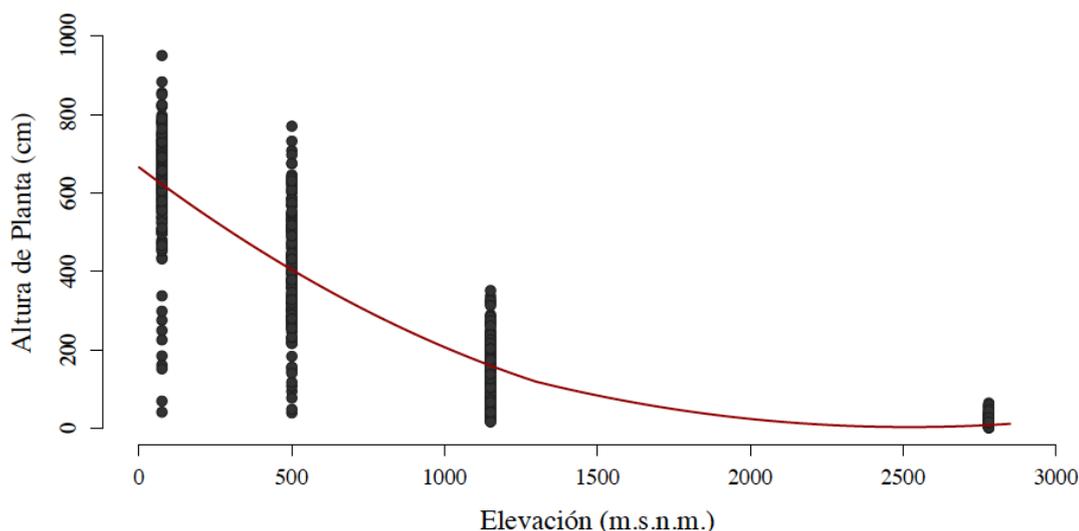
favorecer el crecimiento en altura de esta especie como ocurre en otras de rápido crecimiento, tales como *Tectona grandis* y *Ochroma pyramidale* (Delgado *et al.*, 2006; Ramos *et al.*, 2017). Por lo tanto, puede ser recomendable el uso de altas densidades en este híbrido de *Paulownia*.



**Figura 3.** Diferencias en el crecimiento en altura de las tres especies del género *Paulownia* entre los cuatro sitios de investigación y 2 densidades de plantación. EIAI = El Almendral; SD = Santo Domingo; QV = Quevedo; TS = Tunshi

**Tabla 3** Resumen de los valores absolutos de altura de planta, diámetro de tallo y sobrevivencia al año de establecimiento. La tabla muestra las tres especies de *Paulownia*, los sitios de evaluación y las dos densidades de plantación. ElAl= El Almendral; SD= Sto. Domingo; QV= Quevedo; TS=Tunshi (Riobamba).

Sitios / Especies	Altura de Planta (cm)		Diámetro de tallo (cm)		Sobrevivencia (%)	
	3x3	4x4	3x3	4x4	3x3	4x4
<b>ElAl</b>						
<i>P. elongata</i>	154.85 ±86.48	154.07 ±78.08	3.65 ±1.94	3.71 ±1.39	100 ±0.00	100 ±0.00
<i>P. fortunei</i>	192.44 ±71.62	143.99 ±76.71	4.09 ±1.14	3.43 ±1.53	100 ±0.00	100 ±0.00
P. híbrida	154.40 ±64.67	139.01 ±75.05	3.52 ±1.33	2.96 ±1.42	100 ±0.00	100 ±0.00
<b>SD</b>						
<i>P. elongata</i>	413.41 ±167.38	410.07 ±149.56	7.99 ±3.20	7.96 ±2.78	100 ±0.00	100 ±0.00
<i>P. fortunei</i>	434.85 ±149.92	325.88 ±134.29	8.44 ±2.78	6.37 ±2.47	100 ±0.00	100 ±0.00
P. híbrida	453.44 ±122.16	409.88 ±144.99	8.75 ±2.35	7.96 ±2.69	100 ±0.00	100 ±0.00
<b>QV</b>						
<i>P. elongata</i>	621.88 ±140.27	643.11 ±86.99	14.23 ±3.21	14.72 ±1.99	100 ±0.00	96.55 ±5.27
<i>P. fortunei</i>	623.81 ±133.11	611.38 ±211.64	14.27 ±3.04	14.01 ±4.81	100 ±0.00	96.55 ±5.27
P. híbrida	639.31 ±150.62	583.03 ±146.16	14.62 ±3.50	13.34 ±3.34	100 ±0.00	96.55 ±5.27
<b>TS</b>						
<i>P. elongata</i>	20.37 ± 12.75	22.11 ±14.41	0.61 ±0.50	0.63 ±0.47	87.39 ±13.55	96.55 ±5.27
<i>P. fortunei</i>	19.44 ±10.11	19.45 ±7.50	0.52 ±0.32	0.59 ±0.28	92.83 ±5.48	93.75 ±10.21
P. híbrida	27.34 ±17.24	17.08 ±8.72	0.94 ±0.64	0.59 ±0.34	92.83 ±5.48	88.80 ±0.00



**Figura 4.** Relación no lineal de la altura de planta con la elevación. La altura corresponde a valores combinados de las tres especies del género *Paulownia* y en eje X se encuentra la elevación de cada sitio experimental. La función de la curva es la siguiente:  $Y = 3.3 - 2.3X + 4.2X^2$ ;  $Adj. R-sq = 33.6\%$ ;  $p=valor < 0.0001$

Finalmente, una gran variabilidad en la respuesta individual de cada planta no permite observar una diferencia clara en el tamaño entre las especies investigadas dentro de cada sitio (Tablas 2 y 3). Es claro que las tres especies responden de manera similar durante el primer año de establecimiento. Una razón de este hecho consiste en que los tres sitios climáticos contrastantes tienen un alto potencial para plantaciones forestales, particularmente en términos de altura de las plantas. Es de reconocer, sin embargo, que se esperaba que el híbrido tuviera un mejor desempeño, debido al principio de la recombinación genética de las mejores características de sus genotipos parentales; sin embargo, parece que la respuesta es similar para todos los géneros estudiados. En general, estos

resultados demuestran que plantas del género *Paulownia* podrían ser consideradas como tres alternativas para nuevas plantaciones forestales en condiciones tropicales y andinas del país. Por otra parte, ante la potencial introducción y establecimiento de plantaciones forestales basadas en *Paulownia*, es importante plantear e investigar potenciales amenazas generadas con esta nueva implementación de especies foráneas. Particularmente, el reto de identificar hasta qué punto la importación a escala masiva de individuos arbóreos afectaría no solo a especies nativas y endémicas sino también las propiedades físicas y químicas del suelo.

## CONCLUSIONES

Las especies forestales evaluadas mostraron una gran capacidad de adaptación y buen comportamiento durante el primer año de establecimiento en los ambientes bioclimáticos estudiados. El tamaño de las tres especies de árboles de *Paulownia* varió según las condiciones ambientales, siendo el híbrido el que acusó mejor rendimiento plantado a altas densidades. Sitios sobre 1000 m de altitud asociados a menores temperaturas diarias, pueden restringir el crecimiento individual, y contrariamente, sitios bajo 1000 m de altitud asociados a regiones subtropicales y tropicales, parecen ser nichos más adecuados para el crecimiento de *Paulownia*, en ambos escenarios se precisa un mayor tiempo de evaluación hasta lograr el punto asintótico de crecimiento. Sin embargo, en base de los resultados expuestos, se consideran como opciones potencialmente provechosas para propósitos de contribuir al desarrollo sustentable del sector forestal nacional.

### Agradecimientos

El financiamiento para esta investigación fue otorgado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología en Innovación - Ecuador (SENESCYT). Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, específicamente a las Estaciones Experimentales Santa Catalina, a la Granja El Almendral de la Estación Litoral Sur. Igualmente, a la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH y la Universidad Tecnológica Equinoccial, sede Santo Domingo de los Tsáchilas, por facilitar sus terrenos para plantar las especies forestales en estudio, y a la Universidad Central del Ecuador.

**Funding.** This research received financial support from SENESCYT and the National Institute of Farming Research in Ecuador, granted under the reference number PC-13-INIAP/K058.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

**Compliance with ethical regulations.** The authors have nothing to declare, due to the nature of the work.

**Data availability.** The data is available upon request with the author [roy.vera@usask.ca](mailto:roy.vera@usask.ca).

**Author contribution statement (CRediT):** **R. Vera-Velez:** Data curation, Formal Analysis, Writing – original draft and Writing – review & editing. **J. Grijalva-Olmedo:** Conceptualization and Writing – review & editing. **R. Ramos-Veintimilla:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Project administration and Writing – review & editing. **F. Sigcha-Morales:** Investigation, and **R. Limongi-Andrade:** conceptualization, Investigation.

## REFERENCIAS

- Alfonso-Corrado, C., Campos-Contreras, J., Sánchez-García, G., Monsalvo-Reyes, A. and Clark-Tapia, R., 2014. Manejo forestal y diversidad genética de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham, en Sierra Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 20, pp. 11-22.
- Delgado, R. and Holmes, K., 2006. Stem cankers in Balsa (*Ochroma pyramidale* Cav.) caused by *Pythium vexans* in Ecuador. *Fitopatología Brasileira*, 31(suppl.), pp. 338.
- Fernández-Puratich, H., Oliver-Villanueva, J.V., Lerma-Arce, V., García, M.D. and Raigón, M.D., 2017. Estudio de *Paulownia* spp. como cultivo forestal de rotación corta para fines energéticos en condiciones mediterráneas. *Madera y Bosques*, 23, pp. 15-27. <http://doi.org/10.21829/myb.2017.2331416>
- García-Lahera, J.P., 2010. Guía de facilitación para el trabajo con la literatura de referencia sobre la flora de Cuba. Villa Clara, Cuba:Editorial Feijóo. [https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/72/1d/0b/1d/721d0b1d-5a57-4736-b8e5-5ecc2d6c683/files/Garcia\\_Lahera\\_Guia-Facilit-Flora-Cuba-III\\_2010.pdf](https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/72/1d/0b/1d/721d0b1d-5a57-4736-b8e5-5ecc2d6c683/files/Garcia_Lahera_Guia-Facilit-Flora-Cuba-III_2010.pdf)
- Grijalva, J., Checa, X., Ramos, R., Barrera, P., Vera, R. and Sigcha, F., 2016. Estado de los recursos genéticos forestales en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. INIAP, Quito. 100 p. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2742>
- Guilcapi Baldeón, D.I., 2015. Estudio de adaptabilidad de tres especies forestales del género *Paulownia* (*P. elongata*, *P. fortunei*, y el híbrido *P. elongata* x *P. fortunei*) A las condiciones de sitio "Estepa espinosa" de Tunshi, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. (Tesis) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica, Riobamba, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3954>
- Guzmán Cullay, L.F., 2015. Estudio de adaptabilidad de tres especies forestales del género *Paulownia* (*P. elongata*, *P. fortunei*, y el híbrido *P. elongata* x *P. fortunei*) a las condiciones de sitio "bosque húmedo tropical" de la Estación INIAP-Pichilingue, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos".

- (Tesis de Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica, Riobamba, Ecuador. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/4100/3199>
- Icka, P., Damo, R. and Icka, E., 2016. *Paulownia tomentosa*, a fast growing timber. *Annals "Valahia" University Targoviste, Agriculture*, 10, pp. 14-19. <http://doi.org/10.1515/agr-2016-0003>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, 2015. Informe Anual del Programa Nacional de Forestería. Joya de los Sachas, Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/4100/4049>
- Holguín, B. and Delgado D., 2018. Estudio económico del comportamiento de la madera en el Ecuador en los últimos años. 2009-2017. *Revista OIDLES*, n. 25(diciembre). En línea: <https://www.eumed.net/rev/oidles/25/madera-ecuador.html>
- Hothorn, T., Bretz, F., Westfall, P., Heiberger, R.M., Schuetzenmeister, A., Scheibe, S. and Hothorn, M.T., 2016. Package 'multcomp'. Simultaneous inference in general parametric models. Project for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://ftp5.gwdg.de/pub/misc/cran/web/packages/multcomp/multcomp.pdf>
- Jakubowski, M., 2022. Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review. *Forests*, 13, p. 668. <http://doi.org/10.3390/f13050668>
- Lascano, M., 2008. Valoración de la contribución forestal a la economía nacional, caso Ecuador. OTCA. Ecuador
- Limongi, R., Wiracocha, G. and Yopez, C., 2011. Amarillo de Guayaquil (*Centrolobium ocoxylum* Rose ex Rudd) especie de uso múltiple del bosque seco del Ecuador. INIAP, Portoviejo. 32 p. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2051/1/iniaplsbt148a.pdf>
- López, N. and Muñoz, J., 2017. La producción forestal una actividad con alto potencial en el Ecuador requiere un cambio de visión. *Bosques Latitud Cero*, 7(1), pp. 69-76. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/186>
- Lucas-Borja, ME., Martínez García, E., García Morote, FA., López Serrano, FR., Andrés Abellán, M., Candel Pérez, D. and del Cerro Barja, A., 2011. El cultivo de Paulonia (*Pawlonia elongata x fortunei*) para la obtención de madera y biomasa en Castilla-La Mancha: Primeros resultados. *Foresta*, (47 y 48), pp. 106-110. <http://www.redforesta.com/wp-content/uploads/2011/02/El-cultivo-de-Paulonia-Pawlonia-elongata-x-fortuneiem-para-la-obtencion-de-madera-y-biomasa-en-Castilla-La-Mancha-Primeros-resultados-GF4.pdf>
- Lucas-Borja, ME., Martínez García, E., López Serrano, FR., Andrés Abellán, M., García Morote, FA. and Candel Pérez, D., 2008. El cultivo forestal de *Paulownia* ssp: primeros resultados de su aplicación en Castilla La Mancha. Albacete, España: Universidad de Castilla La Mancha.
- Martínez G. E., Borja, L., Abellán, A., López F., García, F. and Barja, B., 2009. Adaptación de las especies del género *Paulownia* para su uso como cultivos forestales en el ámbito mediterráneo. In: 5º Congreso Forestal Español. Montes y Sociedad: Saber qué hacer. [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/view/17257](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/17257)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca., 2014. Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales. Guayaquil - Ecuador. <https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-FOLLETO-PIF-2014-050614.pdf>
- Ministerio de Agricultura (MAG), 2019. Plan Estratégico Institucional 2017-2021. Acuerdo Ministerial No 068. [https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/AM\\_068\\_PEI2.pdf](https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/AM_068_PEI2.pdf)
- MAE, 2009. Ministerio del Ambiente. Aprovechamiento de los recursos forestales en el Ecuador 2007-2009. Quito-Ecuador. [https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/Aprov\\_RFE\\_0709.pdf](https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/Aprov_RFE_0709.pdf)
- MAE, 2018. Pacto por nuestros bosques, para fomentar la producción y el consumo de madera de manera de origen legal. Ministerio del Ambiente y Agua <https://www.ambiente.gob.ec/pacto-por-nuestros-bosques-para-fomentar-laproduccion-y-el-consumo-de-madera-de-origen-legal/>

- Pástor, M., Jankovič, J., Belko, M. and Modranský, J., 2022. Evaluation of selected growth parameters of *Paulownia coteviva* plantation in the Danubian Lowland. *Journal of Forest Science*, 68(4), pp. 156-162. <http://doi.org/10.17221/155/2021-JFS>
- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S. and Sarkar D., 2017. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-131, URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Prado, L., Samaniego, C. and Ugarte-Guerra, J., 2010. Estudio de las cadenas de abastecimiento de germoplasmas forestal en Ecuador. World Agroforestry Centre (ICRAF), Lima. 247 p.
- PROCIMER, 2015. Ecuador mejorará su producción de teca para mercados internacionales. [https://www.procomer.com/alertas\\_comerciales/ecuador-mejorar-suproduccion-de-teca-para-mercados-internacionales/](https://www.procomer.com/alertas_comerciales/ecuador-mejorar-suproduccion-de-teca-para-mercados-internacionales/)
- Ramos, R., Cárdenas, A., Vera, R., Limongi, R. and Grijalva, J., 2017. In vitro propagation of three species of the *Paulownia* genus under the conventional propagation system. *Quebracho – Forest Science Journal*, 25 (2), pp. 69-79. <http://www.scielo.org.ar/pdf/quebra/v25n2/1851-3026-quebra-25-2-00069.pdf>
- Ramos, R., Guanga, A., Sigcha, F.A. and Romero, F., 2020. Respuesta de material genético de *Paulownia* spp. a tratamiento silvicultural, como estrategia para evaluar su adaptabilidad a condiciones climáticas de estepa espinosa Montano Bajo, Ecuador. *KnE Engineering*, 5(2), pp. 546-561. <http://doi.org/10.18502/keg.v5i2.627>
- R Core Team., 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Rodes Blanco, M., 2015. Adaptabilidad de tres especies forestales del género *Paulownia* (*P. elongata*, *P. fortunei*, y el híbrido *P. elongata* x *P. fortunei*) a las condiciones de sitio de bosque seco, provincia de Loja (Ecuador) durante el primer año de establecimiento. Tesis de fin de carrera - Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes - Universidad Politécnica de Madrid.
- Wayne, K. and Donald, G., 2004. Tree crops for marginal farmland. University of Tennessee. 31 p.
- Zambrano Menéndez, E.J., 2015. Adaptación de especies forestales de rápido crecimiento del género *Paulownia* a las condiciones del sitio bosque húmedo tropical en Santo Domingo. (Tesis de Ingeniería). Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Carrera de Ingeniería Agropecuaria y Gestión de Proyectos, Santo Domingo, Ecuador. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/4100/4538>
- Zhu, ZH., Chao, CJ., Lu, XY. and Xiong, YG., 1986. *Paulownia* in China: cultivation and utilization. *The Chinese Academy of Forestry* Beijing, China.
- Zuur, A., Ieno, E.N. and Smith, G.M., 2007. Analyzing ecological data. Springer Science & Business Media.