



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**

**Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**

**Carrera de Ingeniería Forestal**

**Estimativa de parámetros genéticos en progenies de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O. Grose en la Hoya de Loja**

Trabajo de Titulación previa a la obtención  
del título de Ingeniera Forestal

**AUTORA:**

Karla Brigette Chuquimarca Montalván

**DIRECTOR:**

Ing. Darlin Ulises González Zaruma, PhD.

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 22 de febrero de 2024

Ing. Darlin González Zaruma PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Estimativa de parámetros genéticos en progenies de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O. Grose en la Hoya de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Forestal**, de autoría de la estudiante **Karla Brigette Chuquimarca Montalván**, con cédula de identidad Nro. **1104415177**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

.....

Ing. Darlin Ulises González Zaruma, PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Karla Brigette Chuquimarca Montalván**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1104415177

**Fecha:** 01 de marzo de 2024

**Correo electrónico:** [karla.chuquimarca@unl.edu.ec](mailto:karla.chuquimarca@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0939309269

**Carta de autorización por parte de la autora para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación**

Yo, **Karla Brigette Chuquimarca Montalván**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Estimativa de parámetros genéticos en progenies de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O. Grose en la Hoya de Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, al primer día del mes de marzo del año dos mil veinticuatro.

**Firma:**



**Autor:** Karla Brigette Chuquimarca Montalván

**Cédula de identidad:** 1104415177

**Dirección:** Avenida Pío Jaramillo y Kennedy

**Correo electrónico:** [karla.chuquimarca@unl.edu.ec](mailto:karla.chuquimarca@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0939309269

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Darlin González Zaruma PhD.

## **Dedicatoria**

A mis padres Carlos y Maribel por haber dado todo de sí para que yo pueda educarme, por sus palabras de apoyo y su perseverancia por hacerme una mejor persona. Gracias por ser mi motor y fuerza para que pueda seguir adelante, son mi ejemplo de vida y sin duda lo mejor que tengo. También a mis abuelitos por sus incontables consejos y por estar siempre a mi lado alentándome a seguir esforzándome y dando siempre lo mejor de mí, además a mis amigos y demás personas que son parte de mi vida y me han acompañado en mi carrera universitaria con su apoyo y afecto.

*Karla Brigette Chuquimarca Montalván*

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Forestal y a todos los docentes que formaron parte en mi proceso de aprendizaje por brindarme sus conocimientos y experiencias para el futuro.

Agradezco de manera especial a mi director de tesis el Ing. Darlin Gonzalez por su paciencia y apoyo al acompañarme en el proceso de realización de tesis.

Finalmente agradezco a todos mis compañeros y amigos, en especial a Emily, por estar desde el primer día, por los consejos, el apoyo, estar en las buenas, en las malas y en las peores y por hacer de esta etapa una de las mejores; y a Brayan, por toda la ayuda brindada, las risas y por estar en cada momento de este recorrido.

Dios los bendiga a todos.

*Karla Brigette Chuquimarca Montalván*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de figuras:</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de tablas:</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de anexos:</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1. Descripción de <i>Handroanthus chrysanthus</i> y distribución natural .....	7
4.1.1. Descripción general.....	7
4.1.2. Taxonomía .....	7
4.1.3. Descripción botánica.....	7
4.1.4. Distribución natural.....	8
4.2. Importancia de la especie .....	9
4.3. Biología reproductiva .....	9
4.3.1. Flores .....	9
4.3.2. Polinizadores.....	9
4.3.3. Propagación .....	10
4.4. Variación genética .....	11
4.4.1. Variabilidad genética.....	11
4.4.2. Variación geográfica .....	11
4.4.3. Variedad silvicultural .....	11
4.4.4. Genotipo.....	12

4.4.5.	Fenotipo .....	12
4.4.6.	Flujo génico .....	12
4.4.7.	Selección natural.....	13
4.4.8.	Plasticidad fenotípica .....	13
4.4.9.	Aptitud reproductiva .....	13
4.5.	Genética cuantitativa .....	14
4.5.1.	Base genética de los caracteres cuantitativos .....	14
4.5.2.	Componentes de variación fenotípica .....	15
4.5.3.	Heredabilidad.....	15
4.5.4.	Endogamia .....	16
4.5.5.	Ensayos de procedencias y progenies .....	16
4.6.	Mejoramiento genético forestal .....	17
4.7.	Conservación de recursos genéticos forestales.....	17
4.7.1.	Conservación <i>in situ</i> .....	18
4.7.2.	Conservación <i>ex situ</i> .....	18
4.7.3.	Conservación <i>on farm</i> .....	18
<b>5.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>20</b>
5.1.	Área de estudio .....	20
5.2.	Características edafoclimáticas.....	20
5.3.	Antecedentes del ensayo .....	21
5.4.	Metodología para estimar la variabilidad genética de progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	22
5.4.1.	Colecta de datos.....	22
5.4.2.	Estimación de los componentes de variancia y parámetros genéticos .....	22
5.5.	Metodología para evaluar el crecimiento inicial de <i>Handroanthus chrysanthus</i> con diferentes espaciamientos.....	25
5.5.1.	Colecta de datos.....	25
5.5.2.	Análisis de datos.....	25
<b>6.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>26</b>
6.1.	Estimación de la variabilidad genética de procedencias y progenies de <i>H. chrysanthus</i> ..	26



6.1.1.	Diámetro a la base .....	26
6.1.2.	Altura.....	27
6.2.	Evaluación del crecimiento inicial de <i>Handroanthus chrysanthus</i> con diferentes espaciamientos.....	27
6.2.1.	Sobrevivencia .....	27
6.2.2.	Diámetro a la base .....	29
6.2.3.	Altura total .....	30
6.2.4.	Crecimiento entre el diámetro a la base y la altura. ....	31
6.2.5.	Herbivoría .....	32
6.2.6.	Estado de ápice por procedencia .....	33
6.2.7.	Estado de ápice .....	34
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>35</b>
7.1.	Estimación de la variabilidad genética de progenies de <i>H. chrysanthus</i> .....	35
7.2.	Evaluación del crecimiento inicial de <i>H. chrysanthus</i> con diferentes espaciamientos .....	37
7.2.1.	Sobrevivencia .....	37
7.2.2.	Altura y diámetro.....	37
7.2.3.	Herbivoría y estado fitosanitario .....	38
<b>8.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>40</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>41</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>42</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>51</b>

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> a) Árbol de <i>Handroanthus chrysanthus</i> ; b) hoja palmada de <i>Handroanthus chrysanthus</i> ; c) flores tubulares de <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	8
<b>Figura 2.</b> Distribución natural de <i>Handroanthus chrysanthus</i> en América.....	8
<b>Figura 3.</b> Ubicación del ensayo de procedencias y progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	20
<b>Figura 4.</b> Sobrevivencia de progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> de dos procedencias (Virgenpamba, n= 85 y Jipiro Alto, n=73) en diferentes espaciamientos a los 60 meses de plantación.....	28
<b>Figura 5.</b> Sobrevivencia de <i>Handroanthus chrysanthus</i> en diferentes espaciamientos a los 60 meses de plantación (n=158).....	29
<b>Figura 6.</b> Diámetro a la base de <i>Handroanthus chrysanthus</i> a diferentes espaciamientos a los 60 meses de edad de dos procedencias (Virgenpamba, n= 85 y Jipiro Alto, n=73).....	29
<b>Figura 7.</b> Diámetro a la base de progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> en diferentes espaciamientos a los 60 meses de edad (n=158).....	30
<b>Figura 8.</b> Altura total de <i>Handroanthus chrysanthus</i> a diferentes espaciamientos, a los 60 meses de plantación de dos procedencias (Virgenpamba, n= 85 y Jipiro Alto, n=73).....	31
<b>Figura 9.</b> Altura total de progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> a diferentes espaciamientos a los 60 meses de edad (n=158).....	31
<b>Figura 10.</b> Relación entre el crecimiento en diámetro a la base y altura de progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> , a los 60 meses de plantación.....	32
<b>Figura 11.</b> Herbivoría en progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> en dos procedencias (Virgenpamba, n= 85 y Jipiro Alto, n=73), con diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad.....	33
<b>Figura 12.</b> Herbivoría en progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> en diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad (n=158).....	33

<b>Figura 13.</b> Estado de ápice en progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> , provenientes de Jipiro Alto (n=73) con diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad.....	34
<b>Figura 14.</b> Estado de ápice en progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> , provenientes de Virgenpamba (n= 85) con diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad.....	35
<b>Figura 15.</b> Estado de ápice de progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> , con diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad (n=158).....	35

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Valores de distancia radial, área por planta y densidad de plantas de <i>Handroanthus chrysanthus</i> en el delineamiento sistemático Nelder tipo “leque”.....	21
<b>Tabla 2.</b> Hoja de campo para el registro de variables dasométricas en procedencias/progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> a los 60 meses de edad.....	22
<b>Tabla 3.</b> Hoja de campo para el registro de variables dasométricas en diferentes espaciamientos en plántulas de <i>Handroanthus chrysanthus</i> a los 60 meses de edad.....	25
<b>Tabla 4.</b> Estimativas de parámetros estadísticos y genéticos para diámetro a la base (cm) en un ensayo de procedencias/progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> a los 60 meses de edad. ....	26
<b>Tabla 5.</b> Estimativas de parámetros estadísticos y genéticos para altura (cm) en un ensayo de procedencias/progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> a los 60 meses de edad.....	27

## **Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Delineamiento sistemático “leque” de instalación del ensayo de procedencias y progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> . .....	51
<b>Anexo 2.</b> Colecta de datos a los 60 meses de crecimiento en progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	51
<b>Anexo 3.</b> Análisis de la varianza del diámetro a la base (ANOVA) en progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> . .....	52
<b>Anexo 4.</b> Análisis de la varianza de la altura (ANOVA) en progenies de <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	52
<b>Anexo 5.</b> Certificación de traducción del resumen.....	53

## **1. Título**

Estimativa de parámetros genéticos en progenies de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.)

S.O. Grose en la Hoya de Loja

## 2. Resumen

*Handroanthus chrysanthus*, conocido como guayacán amarillo, es un árbol caducifolio perteneciente a la familia Bignoniaceae. Esta especie destaca por su madera fuerte y duradera siendo utilizada en la construcción de viviendas, puentes, parquet, muebles y artesanías, así como en proyectos de paisajismo y reforestación urbana. Comprender la variabilidad genética de *Handroanthus chrysanthus* en la Hoya de Loja va a fortalecer los conocimientos de la ecología de la especie y potenciar su utilidad para la ejecución de programas de conservación *ex situ* y programas de mejoramiento para aprovechar de manera óptima los recursos forestales. Para ello se planteó el objetivo de estimar la variabilidad genética y el espaciamiento sobre el crecimiento en diámetro a la base y altura en un ensayo de progenies a los 60 meses de plantación, dentro de la Quinta Experimental “La Argelia”, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja en un diseño experimental de delineamiento sistemático Nelder, el mismo que está conformado por 2 procedencias (Jipiro Alto y Virgenpamba) y 27 familias (tratamientos) distribuidas de forma aleatoria. Para ello, se registraron datos de sobrevivencia, altura de planta y diámetro a la base a los 60 meses de plantación. Posteriormente de estos caracteres, se estimaron los parámetros genéticos mediante el software SELEGEN-REML/BLUP; considerando el crecimiento con diferentes espaciamientos. Los resultados del análisis de varianza para el diámetro a la base y altura a los 60 meses de edad muestran variabilidad genética entre procedencias y diferencia significativa entre progenies (9,52 y 16,28) respectivamente. Para las variables dasométricas el diámetro a la base y altura, las procedencias presentaron altos valores de heredabilidad aditiva ( $>0,96$ ), así como para heredabilidad media de progenies ( $>: 0,71$ ). El coeficiente de variación experimental varió de 28,98 a 32,81 % y la exactitud registró valores de 0,84 y 0,89 % para Jipiro y Virgenpamba respectivamente. A los 60 meses de edad se registró una tasa de sobrevivencia entre el 51,85 a 73,15 %, los espaciamientos 1 y 4 son los que presentan el mayor porcentaje de sobrevivencia de individuos con el 85,19 %; el diámetro a la base registró un promedio de 3,79 cm y la altura un promedio de 97,03 cm, en ambos casos, en el espaciamiento 1 obtuvo el mayor crecimiento promedio en diámetro a la base y altura con 4,30 cm y 122,27 cm respectivamente. En conclusión, este estudio reveló la existencia de variabilidad genética en los caracteres evaluados a nivel de procedencias y progenies, además de que el espaciamiento influyó en el crecimiento de las progenies, lo que representa posibilidad de selección intra y entre familias para mejoramiento genético.

**Palabras clave:** Guayacán; delineamiento sistemático nelder; altura; diámetro a la base.

## 2.1. Abstract

*Handroanthus chrysanthus*, known as yellow guayacán, is a deciduous tree belonging to the Bignoniaceae family. This species is noted for its strong and durable wood and is used in the construction of houses and bridges, as well as in landscaping and urban reforestation projects. Understanding the genetic variability of *Handroanthus chrysanthus* in the Hoya de Loja will strengthen the knowledge of the ecology of the species and enhance its usefulness for the implementation of ex situ conservation programs and improvement programs to make optimal use of forest resources. The objective was to estimate the genetic variability and the spacing on the growth in diameter at the base and height in a trial of progenies 60 months after planting, within the Experimental Farm "La Argelia", belonging to the National University of Loja in an experimental design of systematic delineation Nelder, which is made up of 2 provenances (Jipiro Alto and Virgenpamba) and 27 families (treatments) randomly distributed. For this purpose, data on survival, plant height and diameter at the base were recorded 60 months after planting. Subsequently, genetic parameters were estimated from these traits using SELEGEN-REML/BLUP software, considering growth with different spacings. The results of the analysis of variance for diameter at base and height at 60 months of age show genetic variability between provenances and significant difference between progenies (9,52 and 16,28) respectively. For the dasometric variables diameter at base and height, the provenances presented high values of additive heritability ( $>0,96$ ), as well as for mean heritability of progenies ( $>: 0,71$ ). The experimental coefficient of variation varied from 28,98 to 32,81 % and the accuracy registered values of 0,84 and 0,89 % for Jipiro and Virgenpamba, respectively. At 60 months of age a survival rate between 51,85 and 73,15 % was recorded, spacings 1 and 4 are the ones with the highest percentage of survival of individuals with 85,19 %; the diameter at the base recorded an average of 3,79 cm and the height an average of 97,03 cm, in both cases, spacing 1 obtained the highest average growth in diameter at the base and height with 4,30 cm and 122,27 cm respectively. In conclusion, this study revealed the existence of genetic variability in the characters evaluated at the level of provenances and progenies, in addition to the fact that spacing influenced the growth of the progenies, which represents the possibility of selection within and between families for genetic improvement.

**Key words:** Guayacán; nelder systematic delineation; height; diameter at base.



### 3. Introducción

La región de América Latina y el Caribe alberga el 23 % (927 millones de hectáreas) de los bosques del mundo; sin embargo, entre 1990 y 2020 la proporción de cobertura forestal en la región disminuyó sistemáticamente del 53 al 46 % del territorio principalmente por la conversión a zonas de agricultura y ganadería (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021). Esta realidad no ha sido ajena al Ecuador, es así que para la década de 1990 el 68 % de la cobertura de los bosques nativos se mantenía; sin embargo, entre 2008 y 2018 estos porcentajes disminuyeron al 56 % (12,5 millones de hectáreas) (Sierra et al., 2021).

En este sentido, la pérdida de cobertura vegetal en los bosques tropicales coloca en peligro la integridad de los recursos genéticos forestales, debido al deterioro y fragmentación de los hábitats (Santamarta, 2022), y gran parte está dado por el sistema de explotación forestal tradicional que orienta a la extracción de los mejores individuos dentro de un rodal (tala selectiva) o extracción total de las especies de alto valor comercial (Organización Internacional de las Maderas Tropicales, 2004). Además, la tala selectiva reduce la cantidad de árboles reproductivos y tiene un impacto mayor en la diversidad genética cuando va acompañada de una creciente fragmentación del paisaje circundante (Riina, 2014). Produciendo como resultado que, el potencial genético forestal se encuentre en riesgo de perderse para siempre, antes de poder ser identificado y utilizado (Ipinza, 2015).

Estos acontecimientos plantean una amenaza directa a la diversidad genética de las especies forestales nativas, ya que aumentan el riesgo de extinción en sus hábitats naturales. Por consiguiente, la conservación de genes se vuelve una medida cada vez más crucial para preservar esta diversidad genética, según lo indicado por Riina en 2014. En este contexto, la conservación *in situ* de genes emerge como la opción primordial, ya que no es estática y permite la continuidad de los procesos genéticos poblacionales, incluida la selección genética.

Sin embargo, existen situaciones en las que las poblaciones enfrentan un riesgo inminente de extinción en sus hábitats naturales. En tales casos, la conservación genética *ex situ* se convierte en la única alternativa viable, como señalan Degen y Sebbenn en 2014. Este enfoque fuera del entorno natural se vuelve esencial para garantizar la supervivencia y diversidad genética de las especies en peligro, aunque se reconoce que la preferencia recae en la conservación *in situ* siempre que sea posible.

Los elementos importantes de la conservación *ex situ* están relacionados con la necesidad de identificar, preservar y gestionar la variedad de especies, principalmente mediante el desarrollo y manejo de la regeneración, en diversas formas en el campo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007). Además, Yanchuk (2001) establece una estructura basada en la genética cuantitativa para integrar el mejoramiento y la conservación de recursos genéticos forestales.

En el ámbito forestal, el éxito de los programas de mejoramiento genético está asociado con la capacidad de seleccionar árboles superiores que sean utilizados como progenitores (matrices) (Barros et al., 2006) y combinar con actividades silvícolas y prácticas de manejo forestal (Zobel y Talbert, 1988). Así, el mejoramiento de árboles podría incrementar la productividad y ofrecer un gran potencial de adaptación al cambio climático. Por otro lado, constituye una herramienta básica de la silvicultura, ya que gracias a los procesos de selección y mejora genética se puede incrementar la calidad de los productos forestales (Marquina, 2010).

En la región sur del Ecuador, *Handroanthus chrysanthus* (guayacán) es una de las especies nativas que se encuentra amenazada, figura como vulnerable según la Lista Roja de Especies Amenazadas (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2020), debido a factores antrópicos tales como: la expansión urbana, expansión de la frontera agrícola, incendios forestales y el aprovechamiento forestal maderable sin criterios de manejo forestal (Palma, 2018). La explotación maderera sin criterios de manejo forestal se lleva a cabo debido al elevado valor económico y comercial de esta especie tanto a nivel nacional como internacional, dada su utilidad extraordinaria. Esto ha llevado a la preocupación de que el guayacán podría enfrentar la posibilidad de extinción, como indican Villacís y colaboradores en 2015.

En este contexto, la presente investigación proporciona información sobre la variabilidad genética y silvicultural de *Handroanthus chrysanthus* mediante la aplicación de un ensayo de procedencias y progenies, para fortalecer el conocimiento de la ecología de la especie; así como, conocer el potencial para la ejecución de programas de conservación *ex situ* y programas de mejoramiento, con el propósito de establecer los cimientos en el aprovechamiento de los recursos forestales. Para lo cual los objetivos planteados que orientan a la presente investigación fueron:

### **Objetivo general**

Generar información sobre la variabilidad genética y silvicultural en progenies de *Handroanthus chrysanthus*, con la finalidad de apoyar a las estrategias de conservación *ex situ* y mejoramiento genético de la especie en la Hoya de Loja.

### **Objetivos específicos**

- Estimar la variabilidad genética en un ensayo de progenies a los cinco años de edad para fines de conservación.
- Evaluar el crecimiento inicial de *Handroanthus chrysanthus* con diferentes espaciamientos para fines silviculturales.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Descripción de *Handroanthus chrysanthus* y distribución natural

#### 4.1.1. Descripción general

*Handroanthus chrysanthus* es un árbol caducifolio de 12 a 20 m de altura y de 20 a 40 cm de DAP (Aguirre, 2012). También conocido como guayacán amarillo, roble amarillo, cañaguante, guayacán, chicalá polvillo, floramarillo, araguaney, guayacán polvillo, palo de arco, abejón perteneciente a la familia Bignoniaceae. Tiene fuste recto y cilíndrico, copa amplia, extendida e irregular (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2021).

Es un árbol heliófito, con corteza fisurada pardo-oscuro que es plantado con bastante regularidad para estabilizar cauces de ríos, debido al fuerte anclaje de las raíces que funcionan como barrera para evitar inundaciones (Figura 1a) (Gradstein, 2015).

#### 4.1.2. Taxonomía

La descripción taxonómica de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) según Grose y Olmstead (2007)

Orden: Lamiales Bromhead  
Familia: Bignoniaceae Juss.  
Género: *Handroanthus*  
Especie: *chrysanthus*  
Sinónimo: *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson

#### 4.1.3. Descripción botánica

Hojas palmadas compuestas, opuestas, ápice agudo y bordes aserrados, de 5 folíolos y longitud de 6 a 12 cm, envés áspero y ligeramente pubescente por el envés (Figura 1b).

Flor tubular de 5 cm de longitud, con pedúnculo, cáliz de 5 sépalos cafés; corola de 5 pétalos amarillos, en inflorescencia racimosa (Figura 1c). El fruto es una cápsula cilíndrica pubescente (parecida a una vaina) de 15 a 30 cm de longitud, verde (tierna) y café (madura), contiene abundantes semillas aladas (González et al., 2005; Moto, 2005; Pérez, 2007).

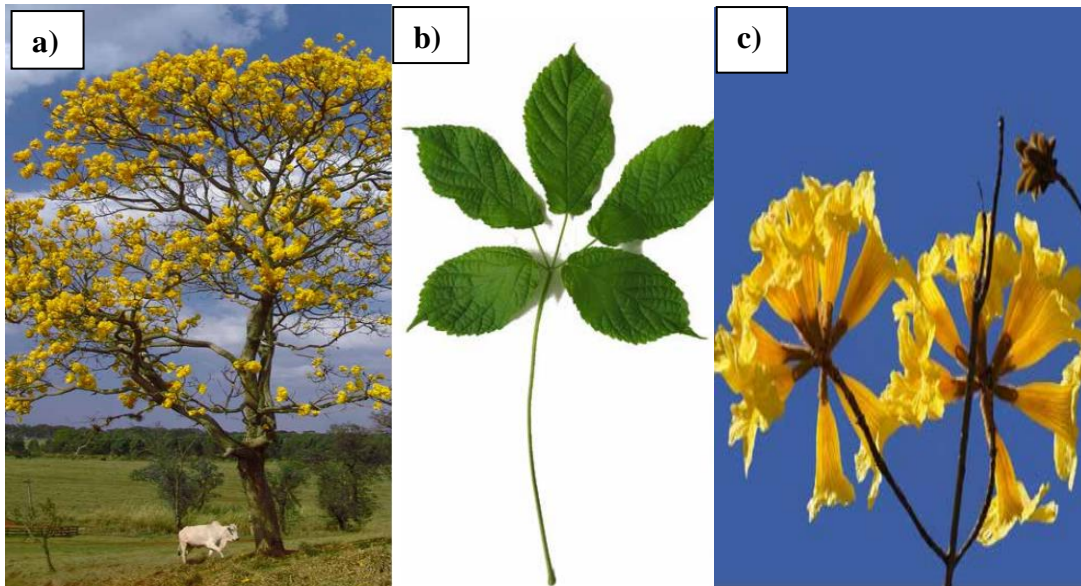


Figura 1. a) Árbol de *Handroanthus chrysanthus*; b) hoja palmada de *Handroanthus chrysanthus*; c) flores tubulares de *Handroanthus chrysanthus*; (Pennington y Sarukhán, 2005).

#### 4.1.4. Distribución natural

Según Jørgensen y León-Yáñez (1999), el guayacán es un árbol nativo de la Costa, Andes y Amazonía; crece en las provincias de Bolívar, Chimborazo, El Oro, Esmeraldas, Guayas, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona Santiago, Napo, Pastaza, Sucumbíos y Pichincha; entre los 0 a 2000 m s.n.m. (Figura 2).

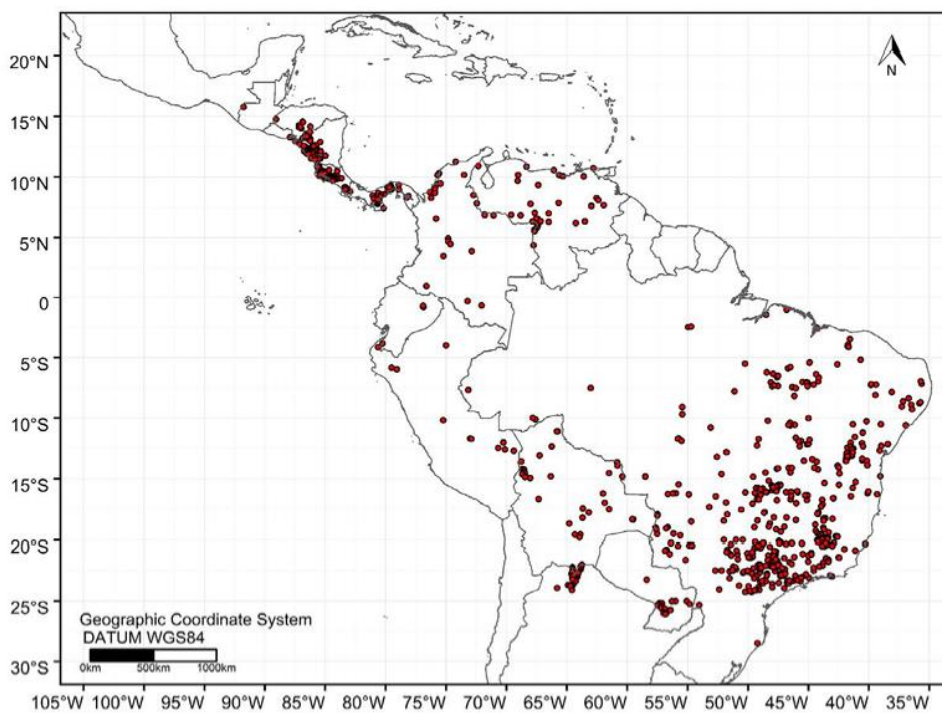


Figura 2. Distribución natural de *Handroanthus chrysanthus* en América (Sousa et al., 2017).

## **4.2. Importancia de la especie**

*Handroanthus chrysanthus* es de las 10 especies maderables más utilizadas para la elaboración de muebles y construcción (Aguirre et al., 2015). La madera fuerte y durable se utiliza en la construcción de casas, puentes, artesanías, muebles y parquet; además es ampliamente utilizado en paisajismo y reforestación urbana (Martins et al., 2008). Se declaró la flor nacional de Brasil (Ferreira et al., 2013).

En América Central se retienen algunos árboles dispersos en los potreros para obtener beneficios adicionales a la ganadería tales como madera, alimentos, sombra y frutos para el ganado (Esquivel et al., 2011). En Ecuador son cientos de kilogramos de forraje (flores, hojas y frutos) que se logra colectar del proceso de floración de la especie, que es alimento principal para los caprinos y bovinos que pastan extensivamente en los bosques secos (Rivas et al., 2015).

## **4.3. Biología reproductiva**

Para que la conservación genética, el manejo forestal y los programas de mejoramiento genético sean efectivos, se requiere del conocimiento de la biología reproductiva de la especie. Sin embargo, dicho conocimiento es muy limitado para la mayoría de las especies forestales tropicales. Los estudios deberían cubrir un rango amplio de tópicos, incluyendo fenología de la floración, mecanismos de incompatibilidad, polinización y biología de la semilla, para lograr la comprensión completa de la biología reproductiva de la especie (Boshier y Lamb, 1997).

### **4.3.1. Flores**

Las flores de *H. chrysanthus* son monoicas (Sousa et al., 2017) y nacen agrupadas en racimos hasta de 10 cm de largo. Son simétricas, con el cáliz tubular y la corola en forma de embudo hasta de 7,5 cm de largo, con el limbo partido en 5 lóbulos de color amarillo brillante. Presentan pelos estrellados en ambas superficies (Pennington y Sarukhán, 2005). El guayacán florece de diciembre a febrero, siendo que el desarrollo de botones florales inicia en diciembre (inicios de la época invernal). La floración de esta especie es explosiva y no supera los seis días (Manrique et al., 2018).

### **4.3.2. Polinizadores**

El vector de la polinización es un factor importante en la biología reproductiva de una especie. De hecho, el estudio de los polinizadores y el manejo, puede ser tan importante como

otros aspectos de la biología reproductiva (Boshier y Lamb, 1997). El género *Handroanthus* es polinizado por abejorros, abejas, avispas y colibríes. La floración es abundante, ya que es común que todos los árboles florezcan simultáneamente, generalmente, la floración de las especies de *Handroanthus* se da con un gran número de flores, lo que se asume, como una estrategia para la atracción de visitantes florales (Barros, 2001).

### **4.3.3. Propagación**

La propagación de las plantas consiste en efectuar su reproducción por medios tanto sexuales como asexuales. Un estudio de la propagación de plantas presenta tres aspectos diferentes: Primero, para propagar las plantas con éxito es necesario conocer las manipulaciones mecánicas y procedimientos técnicos, cuyo dominio requiere de práctica y experiencia, siendo ejemplo de ello cómo hacer injertos o preparar estacas; segundo, para la propagación de plantas se requiere conocimiento de la estructura y desarrollo de la planta, lo cual puede decirse que constituye la ciencia de la reproducción y, un tercer aspecto es el conocimiento de las distintas especies o clases de plantas y los varios métodos con los cuales es posible propagar a ciertas de ellas. En gran parte, el método seleccionado debe estar en relación con las respuestas de la especie de la planta que se propaga y la situación en que se efectúa (Hartmann y Kester, 1997).

#### **4.3.3.1. Sexual**

Las semillas de guayacán deben sembrarse en un sustrato suelto, húmedo, pero bien drenado; ponerlas superficialmente y cubrirlas con una delgada capa de sustrato. Se recomienda hacer la propagación en germinadores utilizando arena como sustrato. El repique a funda debe efectuarse una vez la planta alcance entre 5 y 10 cm de altura y ya presente hojas verdaderas. Después del trasplante es necesario colocar sombra y reducirla gradualmente para adaptar las plantas. Cuando las plántulas alcancen de 20 a 30 cm de altura se considera que están listas para la plantación, esto es pasados 4 a 6 meses de permanencia en el vivero (Gómez et al., 2013).

#### **4.3.3.2. Asexual**

Para el guayacán existen experiencias de propagación vía esquejes con aplicación de hormonas con porcentajes de prendimiento entre el 12,5 – 30 %, y una sobrevivencia entre el 23 y 60 % (Vinueza, 2012).

## **4.4. Variación genética**

### **4.4.1. Variabilidad genética**

La variabilidad genética es una medida de la tendencia de los genotipos de una población a diferenciarse. Los individuos de una misma especie no son idénticos; si bien, son reconocibles como pertenecientes a la misma especie, existen muchas diferencias en su forma, función y comportamiento (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020). En cada una de las características que se puedan nombrar de un individuo van a existir diferencias dentro de la especie, estas diferencias pueden ser genotípicas o fenotípicas.

La variación genética es la base del mejoramiento genético forestal y debe ser separada de la variación causada por diferencias en edad y por las condiciones ambientales (Barner, Ditlevsen y Olesen, 1992).

### **4.4.2. Variación geográfica**

La variación geográfica hace referencia a las diferencias fenotípicas entre árboles nativos creciendo en diferentes porciones del área de distribución de una especie. Los patrones geográficos de variación en rasgos cuantitativos normalmente están asociados con patrones espaciales de variación ambiental, sugiriendo que estos patrones son primariamente el resultado de la selección (White et al., 2007). Existe una disciplina específica que estudia la variación geográfica: la biogeografía, definida como el estudio de la variación intraespecífica en relación con las condiciones ambientales (Aitken, 2004).

La variación geográfica es la variación intraespecífica en relación a las condiciones ambientales del área de distribución natural de la especie en consideración. Su importancia radica en que revela patrones de adaptación de las poblaciones a sus ambientes, resultantes de procesos de selección natural (Aitken, 2004).

### **4.4.3. Variedad silvicultural**

Dentro de una misma población, pequeña o grande, asociada a factores edafoclimáticos homogéneos, es posible encontrar variación, incluso dentro de familias de medios hermanos, de hermanos completos e incluso entre individuos con la misma constitución genética (clones). Esta variación es causada por las diferencias medioambientales en un mismo sitio y por la



constitución genética individual. A ambientes exactamente iguales, pequeñas diferencias genéticas pueden producir cambios observables entre individuos, y a una constitución genética idéntica, pequeñas diferencias de micrositio producen variación (Ipinza et al., 1998).

La variación observable tiene gran importancia para la silvicultura, ya que cualesquiera que sean sus causas, éstas pueden ser manejadas modificando el ambiente en que se desarrollan los individuos, la constitución genética de éstos, o una combinación de ambas (Balocchi y Delmastro, 1993).

#### **4.4.4. Genotipo**

El genotipo se determina por la descripción del material físico real conformado por el ADN que los padres pasan a un organismo. Para los organismos que se reproducen sexualmente, esa materia física consiste en el ADN aportado por dos progenitores al huevo fertilizado. Para los organismos, plantas clonales o animales que se reproducen asexualmente, el material heredado es una copia directa del ADN de su progenitor (Rival y Durand-Gasselín, 2013).

#### **4.4.5. Fenotipo**

El fenotipo se determina por la descripción de las características físicas y de comportamiento del organismo, por ejemplo, su tamaño, forma, color o sus actividades metabólicas. Está conformado por todas las características o caracteres exteriores observables de un organismo. Un fenotipo se debe típicamente a la influencia de diversas interacciones entre los genes y el medio ambiente (Rival y Durand-Gasselín, 2013).

Las variaciones fenotípicas pueden resultar tanto de propiedades genéticas de la población como de la influencia del ambiente en la expresión de sus genotipos (Pedroso et al., 2010).

#### **4.4.6. Flujo génico**

El flujo génico se define como el intercambio de genes entre distintos individuos de una misma o diferentes poblaciones (Slatkin, 1985). El flujo génico es el movimiento de gametos (polen), cigotos (semillas) y plantas desde un lugar a otro y su incorporación al acervo génico en una nueva localidad. Este proceso ocurre naturalmente vía dispersión de semillas, movimiento de polen e individuos, o sus partes. El flujo génico, tanto para el polen como para

las semillas, depende de factores como la forma de dispersión, tiempo de viabilidad, distancia de flujo genético en plantas dispersión, entre otros (Oleas, 2014).

#### **4.4.7. Selección natural**

El concepto de selección natural se define como la reproducción diferencial de los genotipos en una población. Desde el momento en que existen diferencias en éxito reproductivo de las distintas variantes genéticas, existe selección natural. La selección natural requiere que la variación fenotípica sea regulada genéticamente y que dé lugar a diferencias en la aptitud reproductiva (Eriksson et al., 2006).

#### **4.4.8. Plasticidad fenotípica**

La plasticidad fenotípica (PF), entendida como la habilidad que posee un mismo genotipo para producir diferentes fenotipos en respuesta a diferentes condiciones ambientales, es uno de los medios por los cuales las plantas pueden ajustar su morfología y fisiología permitiéndoles enfrentarse a la heterogeneidad ambiental de su ambiente natural (Pigliucci, 2001).

La PF se puede evaluar a través de las normas de reacción de un genotipo, las cuales muestran la variación fenotípica producida por genotipos expuestos a diferentes ambientes (Cheplick, 2003).

#### **4.4.9. Aptitud reproductiva**

La aptitud reproductiva de un genotipo es su capacidad de contribución con genes para la siguiente generación y puede medirse a través del tamaño de su progenie representada en la siguiente generación (Falconer, 1986). Puede entonces decirse que expresa el resultado final de su desempeño en los procesos fisiológicos y de desarrollo, y que las diferencias entre individuos en estos procesos se manifiestan en la variación de atributos mensurables que los reflejan. La aptitud reproductiva relativa de un individuo se mide en referencia a la media de la población.

La relación entre el fenotipo y la aptitud puede depender del ambiente, ya que las diferentes condiciones ambientales pueden favorecer a diferentes fenotipos (Futuyma, 2005).

## **4.5. Genética cuantitativa**

La mayoría de los caracteres que se pueden percibir de los árboles son cuantitativos, tales como la tasa de crecimiento, densidad de la madera, la cantidad de semillas y frutos producidos, etc. Estos caracteres están determinados por la constitución genética, el ambiente y el estado de desarrollo (edad) del árbol; y, son importantes para la planificación de las futuras estrategias de mejoramiento (Wellendorf y Ditlevsen, 1992).

### **4.5.1. Base genética de los caracteres cuantitativos**

La mayor dificultad para el análisis de la base genética de los caracteres cuantitativos consiste en que los genes que los controlan son imposibles de distinguir fenotípicamente. Los métodos actuales de detección de QTL's (Quantitative Trait Loci) permiten identificar algunos de los genes implicados, en concreto aquellos cuyos efectos sean más importantes, pero, en términos generales se puede afirmar que, normalmente, de estos genes no se conoce ni el número exacto, ni los efectos ni su localización en los cromosomas, razón por la cual su tratamiento se realiza mediante modelos matemáticos en los que se definen y manejan parámetros genético estadísticos (Gallego y Araneda, 2018).

#### **4.5.1.1. Diámetro a la base (DAB)**

Es una medida que proporciona datos sobre el crecimiento secundario del árbol (crecimiento en grosor) y puede ser referente de un crecimiento adecuado o inadecuado relacionado con otros datos como la altura del mismo y desde luego la especie de la que se trate; la medición del diámetro a la altura de la base (DAB) se realiza a 0,1 m (10 cm) sobre el nivel del suelo con la ayuda de una cinta diamétrica, que es colocada a la altura correspondiente, rodeando la sección en forma perpendicular al eje del fuste en todo el recorrido (Bono, 2019).

#### **4.5.1.2. Diámetro a la altura del pecho (DAP)**

Se conoce como diámetro a la altura del pecho (DAP) a la altura en que se debe tomar la medida del diámetro del tronco, dentro de la biometría forestal se ha convenido que sea a 1,30 m del suelo (Meza, 2018).

El diámetro es la variable cuantitativa importante en la evaluación forestal debido, a que es una medida que proporciona datos sobre el crecimiento secundario del árbol (crecimiento en

grosor) que puede ser referente de un crecimiento adecuado o inadecuado relacionado con otros datos como la altura del mismo y desde luego la especie de la que se trate (Meza, 2018).

#### **4.5.1.3. Altura**

La altura total de un árbol es la longitud del segmento de recta que une la base del árbol a la yema terminal. La altura es una variable usada en el análisis del desarrollo de una especie, en determinado sitio forestal y presenta el comportamiento de la referida especie en el transcurso de los años. Dos árboles pueden tener el mismo DAP difiriendo significativamente en la altura, lo que afectará el volumen en proporción directa (Aldana, 2008).

#### **4.5.2. Componentes de variación fenotípica**

Para analizar las propiedades genéticas de una población es necesario descomponer el valor fenotípico en componentes genotípico y ambiental. El genotipo es el conjunto particular de genes que posee el individuo y el ambiente es el conjunto de todas las causas no genéticas que influyen en el valor fenotípico. El genotipo da un cierto valor al individuo, pero este valor se ve afectado por el ambiente, que produce un incremento positivo o negativo (Ramírez y Egaña, 2003).

Si no existiera influencia del ambiente el valor genotípico sería igual al fenotípico, así cuando se evalúa el valor fenotípico de un carácter en árboles que han crecido en el mismo ambiente, las diferencias entre unos y otros se deben exclusivamente a causas genéticas. Si no hubiera influencia del genotipo todo el valor fenotípico se debería al efecto ambiental (Ramírez y Egaña, 2003).

#### **4.5.3. Heredabilidad**

La heredabilidad es un parámetro genético importante, pues expresa la proporción de la varianza fenotípica que es debida al efecto promedio de los genes, lo cual establece el grado de parecido entre parientes (Falconer, 1989), o sea, el grado en que los fenotipos de los individuos son determinados por los genes heredados de los progenitores a sus descendientes.

La heredabilidad tiene función predictiva, ya que suministra información sobre la cantidad a la cual un determinado carácter morfo-genético puede ser transmitido a sucesivas generaciones. La función más importante de la heredabilidad en estudios genéticos de caracteres cuantitativos es su rol predictivo para indicar la confiabilidad del valor fenotípico

como guía del valor reproductivo. Caracteres con heredabilidad alta pueden fácilmente ser fijados por selección simple resultando en elevada ganancia genética (Silva et al., 2018).

#### **4.5.4. Endogamia**

El término endogamia indica una forma de apareamiento entre individuos más o menos emparentados. Cuanto más cercano sea el parentesco entre especies, mayor es el porcentaje de consanguinidad en la progenie resultante. En las plantas monoicas compatibles la endogamia es máxima cuando ocurre la autofecundación, pero pueden presentarse diferentes grados de endogamia en atención al parentesco entre el conjunto de progenitores o al número de ellos (Urbina, 2017).

En las especies autóгамas la endogamia es la forma natural de realizarse, mientras que en las plantas alógamas se practica la endogamia de forma artificial, controlando la polinización (Urbina, 2017).

#### **4.5.5. Ensayos de procedencias y progenies**

El ensayo de procedencias es una plantación experimental, donde se establecen parcelas de varias procedencias bajo un determinado diseño experimental con el propósito de identificar las diferencias entre las procedencias de una misma especie para seleccionar aquella o aquellas más convenientes a una determinada área o región con potencial a realizar plantaciones forestales; mientras que, el ensayo o prueba de progenies, es una plantación experimental donde se establecen parcelas de varias familias (llamadas progenies) bajo un determinado diseño experimental con alguno de los siguientes propósitos:

- Valorar a los árboles progenitores que fueron seleccionados fenotípicamente en campo para usarse en un programa de mejoramiento genético vía selección y cruzamiento, a partir de la respuesta de su progenie o familia.
- Estimar parámetros genéticos, como la heredabilidad, la varianza genética o las correlaciones genéticas, entre otras.
- Establecer una población base para las siguientes generaciones de mejoramiento genético.
- Demostración de ganancia genética (Flores et al., 2014).

#### **4.6. Mejoramiento genético forestal**

El mejoramiento genético de las especies forestales es la aplicación de los principios genéticos junto con las prácticas silviculturales (Zobel y Talbert, 1988). El objetivo es establecer árboles genéticamente mejorados para la repoblación (Flores et al., 2014). La finalidad del mejoramiento en general considera:

- Mayor incremento volumétrico en madera y otros productos
- Aumento de la resistencia de los árboles contra factores adversos
- Mejoramiento de la calidad de la madera u otros productos útiles en relación con su uso, densidad, color, brillo, entre otros.

El mejoramiento genético forestal es eficaz cuando combina todas las experiencias silvícolas y de mejoramiento genético para obtener los productos forestales más rentables y lo más rápido y económicamente posible (Zobel y Talbert, 1988).

El mejoramiento genético consiste en una selección permanente y certificación de calidad genética de materiales. Una vez seleccionado el mejor material disponible, se procede al aislamiento de la población original, para poder realizar luego cruzamientos entre los individuos seleccionados. De la población base de árboles superiores, se vuelve a seleccionar los mejores 15 a 20 genotipos que conformarán una subpoblación comercial o élite. Esta subpoblación comercial podrá ser propagada de dos maneras: sexual o asexualmente, con las respectivas diferencias en ganancia genética y velocidad de multiplicación (Murillo et al., 2017).

Una estrategia de mejoramiento forestal contiene dos etapas: 1) Selección de subpoblaciones (procedencias) para las zonas de plantación y fijación de prioridades para mejoramiento futuro adicional, dentro de esas subpoblaciones; y, 2) La identificación o creación de fuentes de semilla a corto y largo plazo, dentro de estas subpoblaciones (Jara, 1995).

#### **4.7. Conservación de recursos genéticos forestales**

El mejoramiento genético y la conservación deben ser complementarios (Burdon, 1995). La conservación *in situ*, si es planeada de forma apropiada, puede contribuir significativamente en un programa de mejoramiento forestal *ex situ* al brindar una fuente sustentable de material genético, mientras que el programa de mejoramiento forestal puede

proporcionar la motivación y los recursos para una exitosa conservación *in situ* (Gutiérrez, Ipinza, y Barros, 2015).

#### **4.7.1. Conservación *in situ***

Se denomina conservación *in situ* a la conservación de los recursos genéticos en el ambiente natural, ya sea en bosques de producción o en áreas protegidas (FAO et al., 2002). Conservar la biodiversidad *in situ* consiste en proteger los ecosistemas naturales manteniendo las poblaciones de las especies que los componen o recuperándolas si se han deteriorado, las especies de vida silvestre se conservan *in situ* en ecosistemas naturales conocidos como áreas protegidas, incluyen los santuarios, parques naturales y reservas genéticas o de la biosfera, y pueden estar intactos o haber sido ligeramente modificados por el hombre (Baena et al., 2003).

La experiencia práctica sugiere que una buena ordenación de los recursos genéticos debe incluir esfuerzos de conservación basados en dos estrategias que se superponen: la ordenación de bosques naturales con el debido respeto a los recursos genéticos y el establecimiento de redes de áreas más pequeñas de conservación genética (FAO et al., 2002).

#### **4.7.2. Conservación *ex situ***

Es la conservación por fuera del hábitat natural de una especie y desempeña un papel importante en la protección contra la pérdida de la biodiversidad. Los jardines botánicos, arboretos, huertos y bancos de semillas, bancos de clones, jardines comunitarios, rodales de conservación, ensayos de procedencia, ensayos de progenie y últimamente las librerías de ADN, son todos ejemplos de la conservación genética *ex situ* (Gutiérrez et al., 2015).

#### **4.7.3. Conservación *on farm***

La conservación *on farm*, conocida como conservación en fincas, se ha definido como el cultivo y manejo con insumos que dan los agricultores a un conjunto diverso de poblaciones en los agroecosistemas en los que ese cultivo ha evolucionado. La conservación en fincas tiene que ver con agroecosistemas completos, incluyendo las especies inmediatamente útiles (cultivos, forrajes y especies agroforestales), así como los parientes silvestres y las malezas que puedan estar creciendo en áreas vecinas. Los objetivos de un programa de conservación en fincas incluyen:

- Conservar los procesos de evolución y adaptación de los cultivos a sus ambientes

- Conservar la diversidad a diferentes escalas –a nivel de ecosistema, de especie y dentro de las especies
- Integrar los agricultores a un sistema nacional de recursos fitogenéticos
- Mantener o aumentar el control y el acceso que los agricultores tienen de los recursos genéticos de las especies cultivadas (Jarvis et al., 2000).



## 5. Metodología

### 5.1. Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la Quinta Experimental “La Argelia”, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, sector la Argelia, Loja, Ecuador; entre las coordenadas geográficas 04°02'47" y 04° 02'32" de latitud sur y 79° 12'40" y 79° 12'59" de longitud oeste (Figura 3).

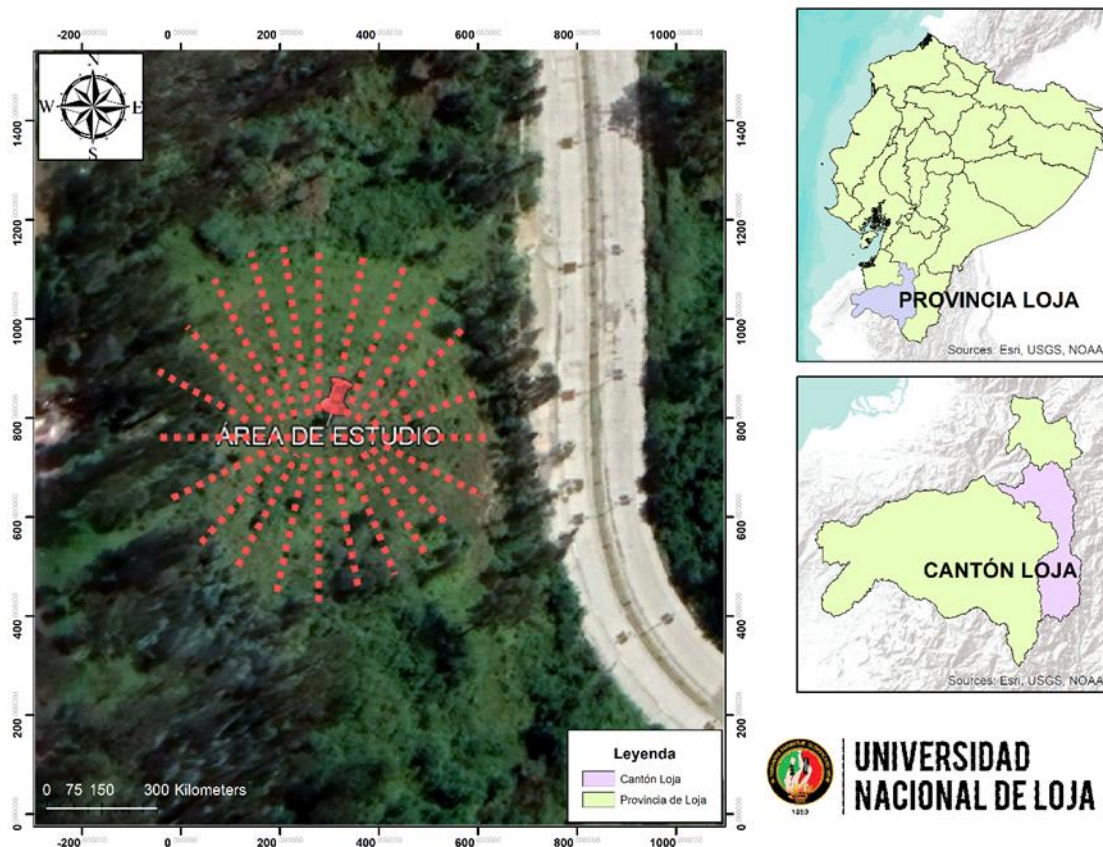


Figura 3. Ubicación del ensayo de procedencias y progenies de *Handroanthus chrysanthus*

### 5.2. Características edafoclimáticas

El ensayo de procedencias y progenies de *H. chrysanthus* se encuentra a una altitud aproximada de 2 100 m s.n.m., precipitación media anual de 955 mm, temperatura media anual 16,2 °C, humedad relativa media 71,96 %, evaporación media 111,33 mm y bioclima subhúmedo templado (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2015).

El suelo es de textura franco arcilloso limoso de color oscuro, con un pH de 4,5 equivalente a suelo ácido, con contenido de materia orgánica del 1,7 % que es considerado bajo, según Julca y colaboradores (2006) debe contener cerca del 5 % de materia orgánica para que sea viable. Además, el suelo tiene presencia de raíces finas hasta los 20 cm con fragmentos rocosos no visibles.

### 5.3. Antecedentes del ensayo

El ensayo de procedencias y progenies de *H. chrysanthus* fue instalado en el 2017 en delineamiento sistemático Nelder (Anexo 1), el mismo que está conformado por 2 procedencias (Jipiro Alto y Virgenpamba) y 27 familias (tratamiento). Estas procedencias están dispuestas en un sistema de 27 radios concéntricos, con una familia con 10 plantas (progenies) por radio, distribuida de forma aleatoria, en ángulos ( $\theta$ ) de  $13,33^\circ$  (Alvarado, 2018).

En cada uno de los radios, las progenies fueron dispuestas en progresión geométrica de razón ( $\alpha$ ) igual a 1,21 a partir de  $r_0 = 5,76$  m. Esa disposición permite el estudio de ocho espaciamientos por planta (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de distancia radial, área por planta y densidad de plantas de *Handroanthus chrysanthus* en el delineamiento sistemático Nelder tipo “leque”.

<b>Espaciamiento</b>	<b>Distancia radial (m)</b>	<b>Distancia entre plantas (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>/árbol)</b>	<b>Densidad (arb. /ha)</b>
<b>(Borde)</b>	5,76	0,00	1,48	6756
<b>1</b>	6,97	0,75	2,16	4629
<b>2</b>	8,42	1,00	3,16	3164
<b>3</b>	10,20	1,50	4,64	2155
<b>4</b>	12,35	2,00	6,80	1470
<b>5</b>	14,94	3,00	9,95	1005
<b>6</b>	18,08	4,50	14,58	685
<b>7</b>	21,87	7,00	21,34	468
<b>8</b>	26,47	10,00	31,26	320
<b>(Borde)</b>	32,03	14,00	45,77	218

## 5.4. Metodología para estimar la variabilidad genética de progenies de *Handroanthus chrysanthus*

### 5.4.1. Colecta de datos

Para estimar la variabilidad genética de progenies de *H. chrysanthus* de dos procedencias, se colectaron datos de variables dasométricas a los 60 meses de crecimiento. Las variables dasométricas evaluadas fueron: i) altura total de plantas (ALT, cm) con la ayuda de un flexómetro y ii) diámetro a la base (DB, cm) con un calibrador (Tabla 2) (Anexo 2).

Tabla 2. Hoja de campo para el registro de variables dasométricas en procedencias/progenies de *Handroanthus chrysanthus* a los 60 meses de edad.

Radio	Procedencia	Progenie	Espaciamiento	DB (cm)	Altura (cm)	Observaciones
1						
2						
...						
27						

### 5.4.2. Estimación de los componentes de variancia y parámetros genéticos

La estimación de los componentes de variancia y parámetros genéticos se realizó a partir de los datos dasométricos colectados en campo por el método REML/BLUP (máxima verosimilitud restringida/mejor predicción lineal no sesgado). Para lo cual, se utilizó el software genético-estadístico SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2016). Cabe señalar que no se consideró la sobrevivencia para la estimativa de parámetros genéticos dado que, es una variable adaptativa a un determinado local y está influenciada por fallas técnicas como el corte de plantas en labores silviculturales e incidencia de ganado en el área experimental.

El delineamiento experimental utilizado fue de bloques casualizados, con 1 árbol por parcela, 27 matrices y 10 progenies por matriz. En el ensayo de progenies fue usado el modelo estadístico, por poblaciones (procedencias):

$$y = Xr + Za + Wp + e$$

dónde: “y” =vector de datos, “r” =vector de los efectos de repetición (efectos fijos) sumados a la media general, “a” =vector de los efectos genéticos aditivos individuales (efectos aleatorios), “p” =vector de los efectos de parcelas (aleatorios), y “e” =vector de los errores o residuos (aleatorios). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los referidos efectos.

La estimación de los parámetros genéticos tuvo como base las siguientes expresiones:

#### 5.4.2.1. Varianza:

La genética cuantitativa de un carácter métrico se basa en el estudio de la variación del mismo y en su partición en componentes atribuibles a causas genéticas y/o ambientales. La variación de un carácter se mide y expresa a través de la varianza (Abbott y Pistorale, 2010). La varianza total es la varianza fenotípica, o la varianza de los valores fenotípicos, y es la suma de los diferentes componentes (Falconer, 1986).

- i) Varianza genética aditiva ( $\sigma_a^2$  g):

$$\sigma_a^2 = \frac{[\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \sigma_e^2 \text{tr} (A^{-1} C^{22})]}{q};$$

- ii) Varianza ambiental entre parcelas ( $\sigma_c^2$ ):

$$\sigma_c^2 = \frac{[\hat{c}' \hat{c} + \sigma_e^2 \text{tr} C^{33}]}{S_1};$$

- iii) Varianza residual (ambiental + no aditiva) ( $\sigma_e^2$ ):

$$\sigma_e^2 = \frac{[y' y - \hat{r}' X' y - \hat{a}' Z' y - \hat{c}' W' y]}{[N - r(x)]};$$

- iv) Varianza fenotípica individual ( $\sigma_f^2$ ):

$$\sigma_f^2 = \sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2;$$

#### 5.4.2.2. Heredabilidad:

Los valores de heredabilidad varían entre 0 y 1, en donde los valores cercanos a 0 indican que el efecto de los genes es bajo o nulo; mientras que los valores cercanos y superiores a 1 indican que los genes tienen alta influencia en la expresión de la característica (Ruales et al., 2007).

- v) Heredabilidad individual en el sentido restricto, o sea, de los efectos aditivos:

$$\hat{h}_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_f^2};$$

- vi) Heredabilidad de la media de progenies:

$$\hat{h}_m^2 = \frac{(1/4)\sigma_a^2}{\left(\frac{1}{4}\right) \cdot \sigma_f^2 + \frac{\sigma_c^2}{r} + \frac{(0,75 \cdot \sigma_a^2 + \sigma_e^2)}{n \cdot r}};$$

Donde; n = número de plantas por parcela; y r = número de repeticiones.

vii) Heredabilidad aditiva dentro de parcela:

$$\hat{h}_{ad}^2 = \frac{0,75 \cdot \sigma_a^2}{0,75 \cdot \sigma_a^2 + \sigma_e^2};$$

#### 5.4.2.3. Coeficiente de variación:

El coeficiente de variación genética se calcula mediante el cociente de la desviación estándar genética entre la media. Coeficientes mayores a 20 % se clasifican como de variabilidad genética alta, de 10 a 20 % variabilidad genética intermedia y menores a 10 % variabilidad baja (Espitia et al., 2022).

viii) Coeficiente de variación genética aditiva individual:

$$CV_{gi}(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_a^2}}{\bar{m}} \times 100;$$

Dónde:  $\bar{m}$  = media general del carácter.

ix) Coeficiente de variación genotípica entre progenies:

$$CV_{gp}(\%) = \frac{\sqrt{0,25 \cdot \sigma_a^2}}{\bar{m}} \times 100;$$

x) Coeficiente de variación experimental: es una medida de dispersión empleada para estimar la precisión de los experimentos, así cuanto menor sea la estimación del CVe, mayor será la precisión del experimento (Cargnelutti y Storck, 2007), y es categorizado como bajo, si es inferior al 10 %; medio, entre 10 – 20 %; alto, entre 20 – 30 % y muy alto si es superior al 30 % (Pimentel, 1990).

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{[0,75 \cdot \sigma_a^2 + \sigma_e^2]/n} + \sigma_e^2}{\bar{m}} \times 100;$$

xi) Coeficiente de variación relativa:

$$CV_r = \frac{CV_{gp}}{CV_e};$$

xii) Error de selección de progenies, asumiendo sobrevivencia completa:

$$r_{\hat{a}} = \sqrt{\hat{h}_m^2};$$

xiii) Coeficiente de determinación de los efectos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ):

$$\hat{C}_p^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2}$$

## 5.5. Metodología para evaluar el crecimiento inicial de *Handroanthus chrysanthus* con diferentes espaciamientos

### 5.5.1. Colecta de datos

A partir de las mediciones realizadas y datos colectados de i) altura total de plantas (ALT, cm); ii) diámetro a la base (DB, cm); iii) Estado de ápice: 0. Bueno; 1. Ápice seco; 2. Ápice quebrado; iv) Herbivoría (%): folíolos deteriorados por plagas o insectos y Supervivencia (SOB %) atribuyendo el valor de “1” para presencia de la planta y “0” para ausencia en procedencias/progenies de *H. chrysanthus* a los 60 meses de edad, en el delineamiento sistemático Nelder, se evaluó el crecimiento inicial de la especie (Tabla 3).

Tabla 3. Hoja de campo para el registro de variables dasométricas en diferentes espaciamientos en plántulas de *Handroanthus chrysanthus* a los 60 meses de edad.

Radio	Procedencia	Espaciamiento	SOB	DB (cm)	Altura (cm)	Estado de ápice	Observación
1							
2							
...							

Estado de ápice: 0. Bueno; 1. Ápice seco; 2. Ápice quebrado

### 5.5.2. Análisis de datos

El análisis estadístico de los datos se realizó a partir de la verificación del cumplimiento de los supuestos en cuanto a normalidad (test de Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (test de Levene) e independencia de errores en el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2020), posteriormente se aplicó la prueba paramétrica (ANOVA, Tukey) esto con la finalidad de determinar la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos al 95 % de significancia.

## 6. Resultados

### 6.1. Estimación de la variabilidad genética de procedencias y progenies de *H. chrysanthus*

#### 6.1.1. Diámetro a la base

Los resultados del análisis de varianza para el diámetro a la base (DB) a los 60 meses de edad muestran variabilidad genética entre procedencias y diferencia significativa entre progenies (9,52). Las procedencias presentaron altos valores de heredabilidad aditiva ( $\hat{h}_a^2$ : 0,96 a 1,38), así como para heredabilidad media de progenies ( $\hat{h}_m^2$ : 0,71 a 0,80). En cuanto al coeficiente de variación experimental ( $CV_e$ ) varió de 28,98 a 32,81 % y la exactitud ( $r_{\hat{a}a}$ ) registró valores de 0,84 y 0,89 % para Jipiro y Virgenpamba respectivamente, por tanto, existe una relación alta entre la variación genética a partir de la variación fenotípica observada en la variable (Tabla 4).

Tabla 4. Estimativas de parámetros estadísticos y genéticos para diámetro a la base (cm) en un ensayo de procedencias/progenies de *Handroanthus chrysanthus* a los 60 meses de edad.

Estimativas	Jipiro Alto	Virgenpamba
$\hat{h}_a^2$	0,96±0,65	1,38±0,72
$\hat{h}_{ad}^2$	0,95	1,58
$\hat{h}_m^2$	0,71	0,80
$r_{\hat{a}a}$ (%)	84,00	89,00
$CV_{gi}$ (%)	37,01	42,07
$CV_{gp}$ (%)	18,50	21,03
$CV_r$	0,56	0,72
$CV_e$ (%)	32,81	28,98
$\hat{m}$ (cm)	3,62	3,85
LRT ( $x^2$ )	9,52*	16,28*

\*significativo al 5 % con 1 grado de libertad;  $\hat{h}_a^2$ : heredabilidad individual en sentido restricto;  $\hat{h}_m^2$ : heredabilidad en media de progenies;  $\hat{h}_{ad}^2$ : heredabilidad aditiva dentro de parcela;  $r_{\hat{a}a}$ : exactitud;  $CV_{gi}$ : coeficiente de variación genética aditiva individual;  $CV_{gp}$ : coeficiente de variación genotípica entre progenies;  $CV_e$ : coeficiente de variación experimental;  $CV_r$  coeficiente de variación relativa;  $\hat{m}$ : media general; LRT  $x^2$  prueba de razón de verosimilitud.

### 6.1.2. Altura

Los resultados del análisis de varianza para la altura a los 60 meses de edad muestran variabilidad genética entre procedencias y diferencia significativa entre progenies (17,37). Las procedencias presentaron altos valores de heredabilidad aditiva ( $\hat{h}_a^2$ : 0,80 a 1,42), así como para heredabilidad media de progenies ( $\hat{h}_m^2$ : 0,66 a 0,81). En cuanto al coeficiente de variación experimental ( $CV_e$ ) varió de 60,60 a 48,20 % y la exactitud ( $r_{\hat{a}a}$ ) registró valores de 0,81 y 0,90 % para Jipiro y Virgenpamba respectivamente, por tanto, existe una relación alta entre la variación genética a partir de la variación fenotípica observada en la variable (Tabla 5).

Tabla 5. Estimativas de parámetros estadísticos y genéticos para altura (cm) en un ensayo de procedencias/progenies de *Handroanthus chrysanthus* a los 60 meses de edad.

Estimativas	Jipiro Alto	Virgenpamba
$\hat{h}_a^2$	0,80±0,59	1,42±0,73
$\hat{h}_{ad}^2$	0,75	1,66
$\hat{h}_m^2$	0,66	0,81
$r_{\hat{a}a}$ (%)	81,00	90,00
$CV_{gi}$ (%)	60,68	71,77
$CV_{gp}$ (%)	30,34	35,88
$CV_r$	0,50	0,74
$CV_e$ (%)	60,60	48,20
$\bar{m}$ (cm)	92,53	95,45
LRT ( $x^2$ )	6,00*	17,37*

\*significativo al 5 % con 1 grado de libertad;  $\hat{h}_a^2$ : heredabilidad individual en sentido restricto;  $\hat{h}_m^2$ : heredabilidad en media de progenies;  $\hat{h}_{ad}^2$ : heredabilidad aditiva dentro de parcela;  $r_{\hat{a}a}$ : exactitud;  $CV_{gi}$ : coeficiente de variación genética aditiva individual;  $CV_{gp}$ : coeficiente de variación genotípica entre progenies;  $CV_e$ : coeficiente de variación experimental;  $CV_r$  coeficiente de variación relativa;  $\bar{m}$ - media general; LRT  $x^2$  prueba de razón de verosimilitud.

## 6.2. Evaluación del crecimiento inicial de *Handroanthus chrysanthus* con diferentes espaciamientos

### 6.2.1. Supervivencia

En relación a la supervivencia de las progenies por procedencia, Virgenpamba presenta el mayor porcentaje con un 81,73 % (85 plantas). En el que, los espaciamientos 4 y 5 destacaron



con un 92,31 % de supervivencia, logrando los mejores resultados. Mientras tanto, el espaciamiento 8 presentó un total de 53,85 %.

En cuanto a Jipiro Alto, se registró un 65,18 % de supervivencia (73 plantas). El espaciamiento con el mayor porcentaje de supervivencia fue el 1, alcanzando un total de 85,71 %. En contraste, el espaciamiento 6 obtuvo el menor índice de supervivencia, con un total de 35,71 % (Figura 4).

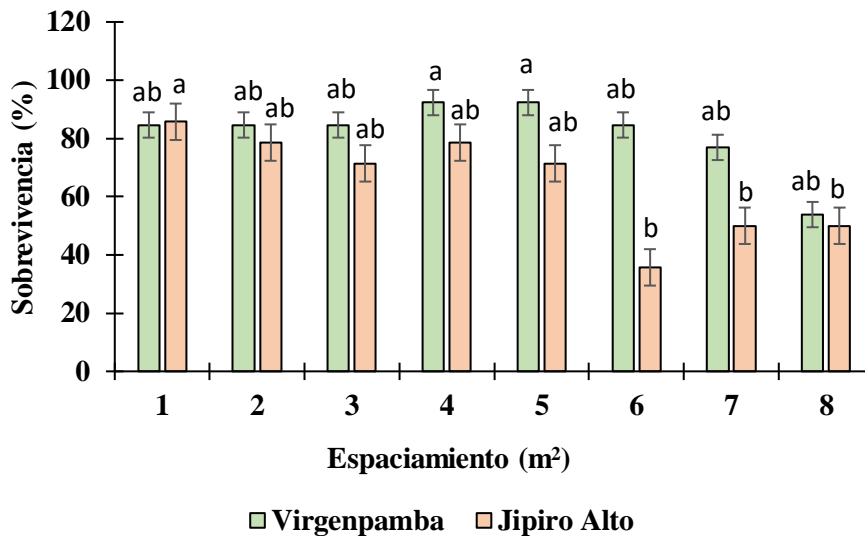


Figura 4. Supervivencia de progenies de *Handroanthus chrysanthus* de dos procedencias (Virgenpamba, n= 85 y Jipiro Alto, n=73) en diferentes espaciamientos a los 60 meses de plantación. Espaciamientos: 1 = 2,16 m<sup>2</sup>; 2 = 3,16 m<sup>2</sup>; 3 = 4,64 m<sup>2</sup>; 4 = 6,80 m<sup>2</sup>; 5 = 9,95 m<sup>2</sup>; 6 = 14,58 m<sup>2</sup>; 7 = 21,34 m<sup>2</sup>; 8 = 31,26 m<sup>2</sup>.

En conjunto, a los 60 meses de edad se registró una tasa de supervivencia de entre el 51,85 a 73,15 % en las progenies de *H. chrysanthus*, lo que indica óptima adaptación de la especie a las condiciones locales del experimento. Cabe destacar que los espaciamientos 1 (2,16 m<sup>2</sup>) y 4 (6,80 m<sup>2</sup>) son los que presentan el mayor porcentaje de supervivencia de individuos con el 85,19 %; mientras que el espaciamiento 8 (21,34 m<sup>2</sup>) es el que registró el menor porcentaje de supervivencia con el 51,85 % (Figura 5).

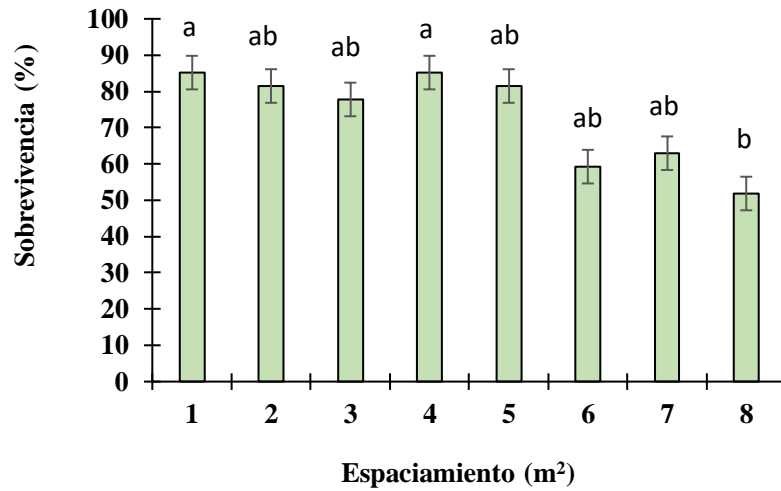


Figura 5. Sobrevivencia de *Handroanthus chrysanthus* en diferentes espaciamientos a los 60 meses de plantación (n=158). Espaciamientos: 1 = 2,16 m<sup>2</sup>; 2 = 3,16 m<sup>2</sup>; 3 = 4,64 m<sup>2</sup>; 4 = 6,80 m<sup>2</sup>; 5 = 9,95 m<sup>2</sup>; 6 = 14,58 m<sup>2</sup>; 7 = 21,34 m<sup>2</sup>; 8 = 31,26 m<sup>2</sup>.

### 6.2.2. Diámetro a la base

En cuanto al crecimiento en diámetro a la base por procedencia y espaciamiento las progenies de Virgenpamba registraron el mayor promedio con 3,91 cm, en comparación con las de Jipiro Alto con 3,74 cm. El espaciamiento por procedencia que obtuvo mayor promedio de crecimiento fue el 5 con 4,26 cm para la procedencia de Virgenpamba, mientras que para Jipiro Alto fue el 1, con 4,35 cm de promedio de crecimiento (Figura 6).

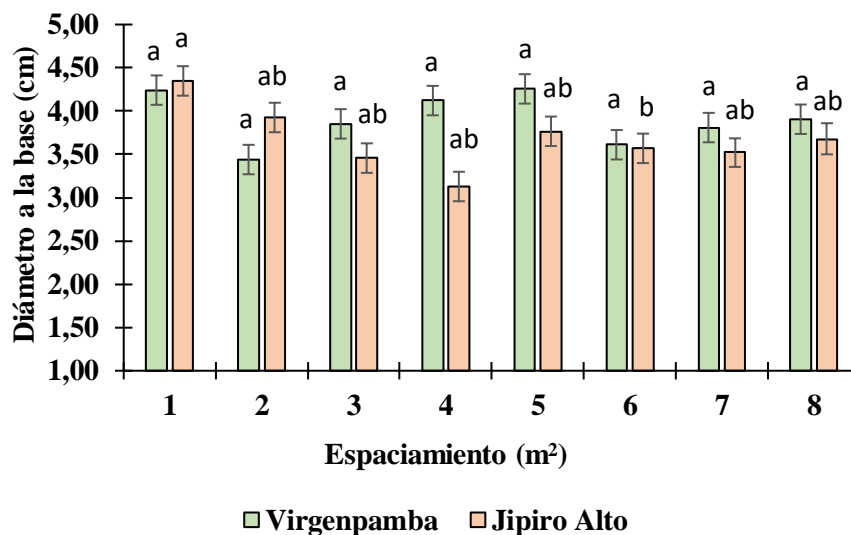


Figura 6. Diámetro a la base de *Handroanthus chrysanthus* en diferentes espaciamientos a los 60 meses de edad de dos procedencias (Virgenpamba, n= 85 y Jipiro Alto, n=73). Espaciamientos: 1 = 2,16 m<sup>2</sup>; 2 = 3,16 m<sup>2</sup>; 3 = 4,64 m<sup>2</sup>; 4 = 6,80 m<sup>2</sup>; 5 = 9,95 m<sup>2</sup>; 6 = 14,58 m<sup>2</sup>; 7 = 21,34 m<sup>2</sup>; 8 = 31,26 m<sup>2</sup>.

El diámetro a la base en las progenies de *H. chrysanthus* registró un promedio de 3,79 cm; sin embargo, en el espaciamiento 1 se obtuvo valor promedio más alto con 4,30 cm, a diferencia del tratamiento 6 en que se registró el menor valor con 3,60 cm (Figura 7).

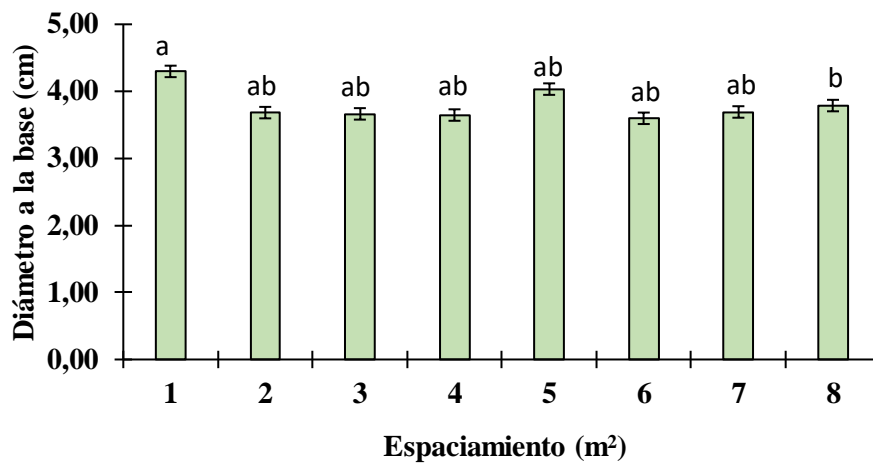


Figura 7. Diámetro a la base de progenies de *Handroanthus chrysanthus* en diferentes espaciamientos a los 60 meses de edad (n=158). Espaciamientos: 1 = 2,16 m²; 2 = 3,16 m²; 3 = 4,64 m²; 4 = 6,80 m²; 5 = 9,95 m²; 6 = 14,58 m²; 7 = 21,34 m²; 8 = 31,26 m².

### 6.2.3. Altura total

Referente al crecimiento en altura por procedencia y espaciamiento, las progenies de Virgenpamba registraron el mayor promedio con 98,34 cm, en comparación con las progenies de Jipiro Alto con 96,71 cm. Así mismo, en ambos sectores, el espaciamiento donde más crecimiento hubo fue en el 1 con 119,82 cm y 124,52 cm respectivamente (Figura 8).

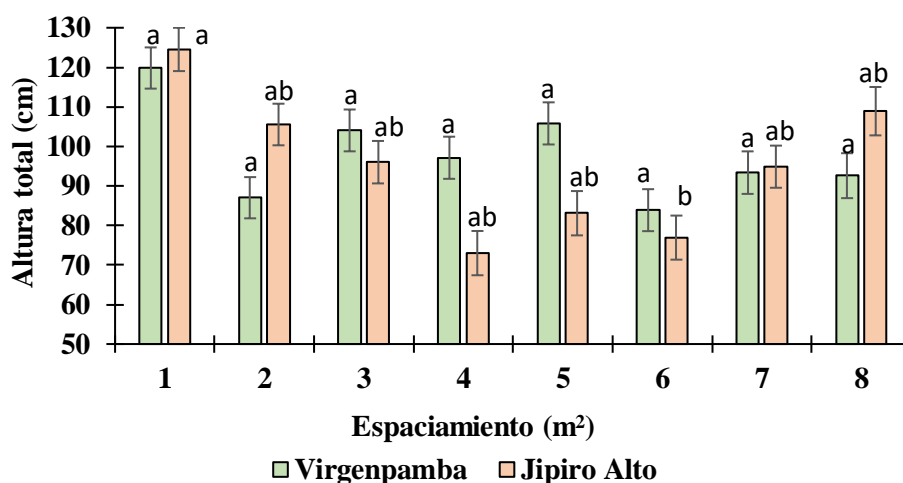


Figura 8. Altura total de *Handroanthus chrysanthus* en diferentes espaciamientos, a los 60 meses de plantación de dos procedencias (Virgenpamba, n= 85 y Jipiro Alto, n=73). Espaciamientos: 1 = 2,16 m²; 2 = 3,16 m²; 3 = 4,64 m²; 4 = 6,80 m²; 5 = 9,95 m²; 6 = 14,58 m²; 7 = 21,34 m²; 8 = 31,26 m².

La altura en las progenies de *H. chrysanthus* registraron en promedio 97,03 cm; sin embargo, en el espaciamiento 1 se obtuvo el mayor valor promedio con 122,27 cm, a diferencia del tratamiento 6 en el que se registró el menor valor con 81,69 cm (Figura 9).

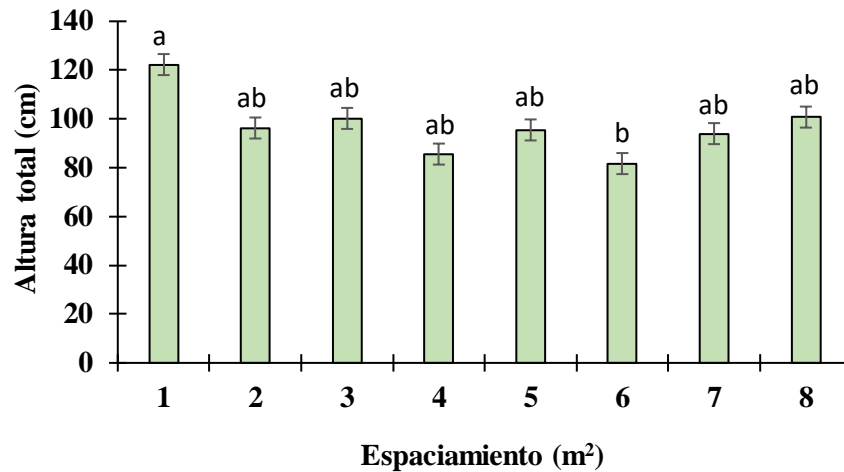


Figura 9. Altura total de progenies de *Handroanthus chrysanthus* a diferentes espaciamientos a los 60 meses de edad (n=158). Espaciamientos: 1 = 2,16 m²; 2 = 3,16 m²; 3 = 4,64 m²; 4 = 6,80 m²; 5 = 9,95 m²; 6 = 14,58 m²; 7 = 21,34 m²; 8 = 31,26 m².

#### 6.2.4. Crecimiento entre el diámetro a la base y la altura.

La relación entre las variables de altura y el diámetro a la base en las procedencias y progenies de *H. chrysanthus* es directamente proporcional en ambas variables. En otras palabras, se observa que a medida que la altura aumenta, también lo hace el diámetro a la base, como lo indica el coeficiente de correlación ( $R^2$ ), el cual se determinó en 0,8092 (Figura 10).

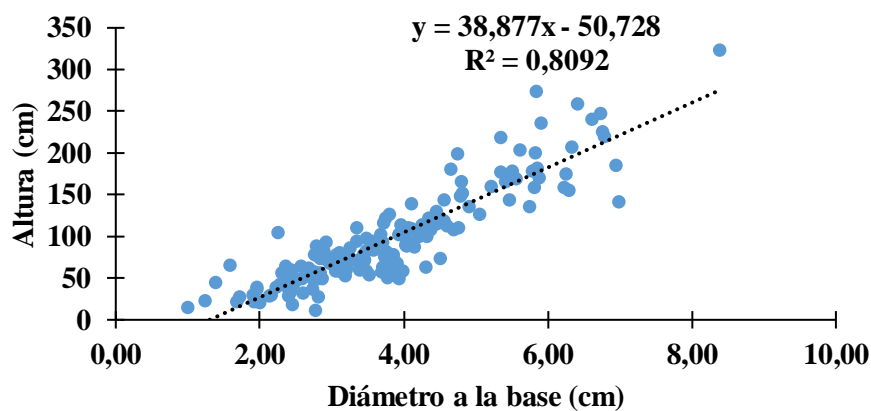


Figura 10. Relación entre el crecimiento en diámetro a la base y altura de progenies de *Handroanthus chrysanthus*, a los 60 meses de plantación.

### 6.2.5. Herbivoría

Respecto a la herbivoría por procedencia y espaciamiento, las progenies de Virgenpamba registraron el mayor porcentaje con 62,71 %, en comparación con las de Jipiro Alto con 61,52 %. Del mismo modo, en ambos sectores, el espaciamiento más afectado fue el 8 con el 64,01 y 63,53 % respectivamente (Figura 11).

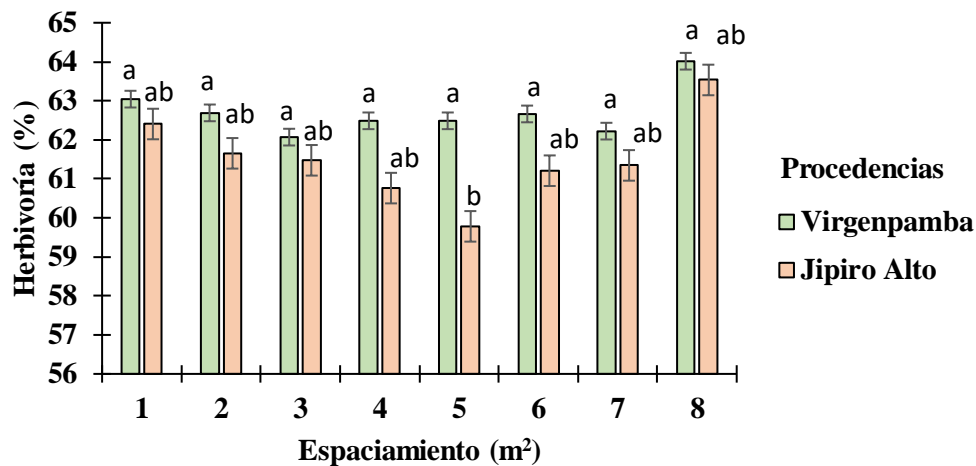


Figura 11. Herbivoría en progenies de *Handroanthus chrysanthus* en dos procedencias (Virgenpamba, n= 85 y Jipiro Alto, n=73), con diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad. Espaciamientos: 1 = 2,16 m²; 2 = 3,16 m²; 3 = 4,64 m²; 4 = 6,80 m²; 5 = 9,95 m²; 6 = 14,58 m²; 7 = 21,34 m²; 8 = 31,26 m².

Las progenies de *H. chrysanthus* registraron mayor incidencia de herbivoría en el espaciamiento 8 con el 63,90 % a su vez, los que menor herbivoría presentaron son las progenies en los espaciamientos 4 y 7 con el 61 % (Figura 12).

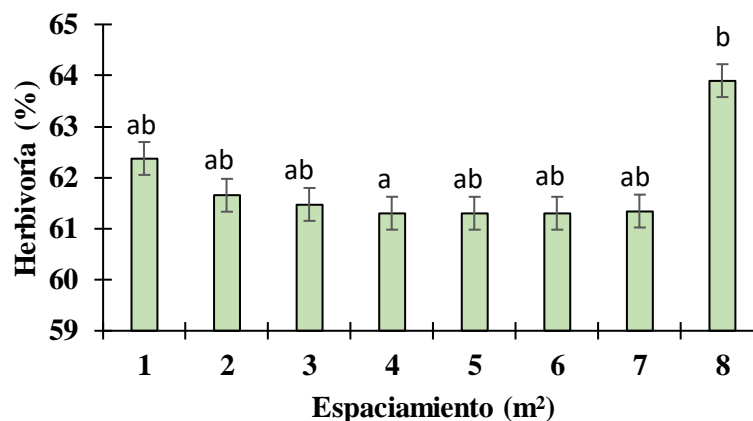


Figura 12. Herbivoría en progenies de *Handroanthus chrysanthus* en diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad (n=158). Espaciamientos: 1 = 2,16 m²; 2 = 3,16 m²; 3 = 4,64 m²; 4 = 6,80 m²; 5 = 9,95 m²; 6 = 14,58 m²; 7 = 21,34 m²; 8 = 31,26 m².

### 6.2.6. Estado de ápice por procedencia

En cuanto al estado de ápice, las progenies de Jipiro Alto registraron mayor promedio de ápice bueno en los espaciamientos 1 y 2 con el 71 %; ápice seco en los espaciamientos 1, 3, 4 y 7 con el 7 %; y ápice quebrado se registró en todas las progenies, a excepción de las que se encuentran en el espaciamiento 3 (Figura 13).

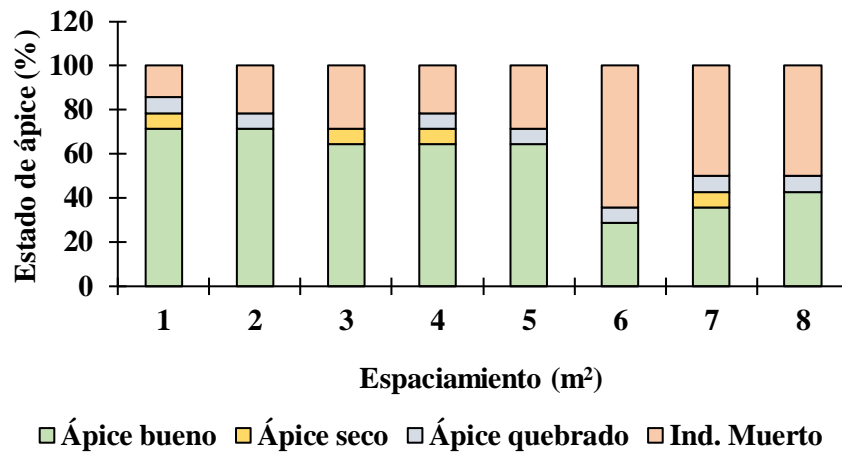


Figura 13. Estado de ápice en progenies de *Handroanthus chrysanthus*, provenientes de Jipiro Alto (n=73) con diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad. Espaciamientos: 1 = 2,16 m<sup>2</sup>; 2 = 3,16 m<sup>2</sup>; 3 = 4,64 m<sup>2</sup>; 4 = 6,80 m<sup>2</sup>; 5 = 9,95 m<sup>2</sup>; 6 = 14,58 m<sup>2</sup>; 7 = 21,34 m<sup>2</sup>; 8 = 31,26 m<sup>2</sup>.

Las progenies de Virgenpamba en el espaciamiento 4 registraron mayor estado de ápice bueno, con el 85 %; sin embargo, la mayor cantidad de ápice seco son las progenies de los espaciamientos 2, 3 y 6 con el 8 %; y las que tiene mayor cantidad de ápice quebrado son las del espaciamiento 7 con un 31 % (Figura 14).

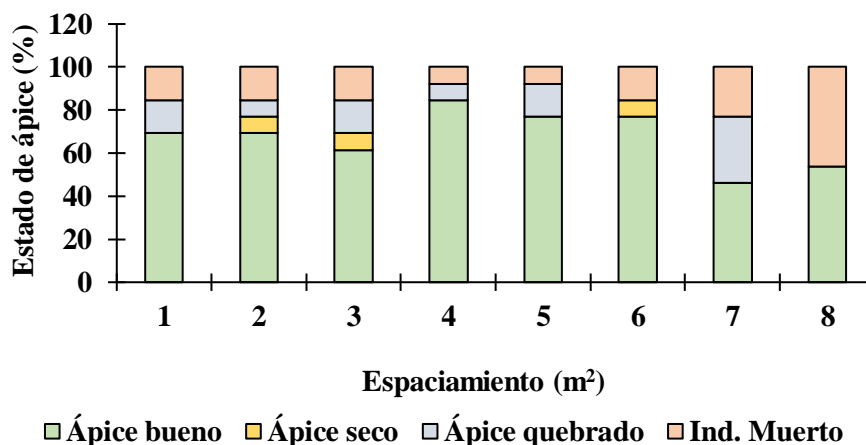


Figura 14. Estado de ápice en progenies de *Handroanthus chrysanthus*, provenientes de Virgenpamba (n= 85) con diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad. Espaciamientos: 1 = 2,16 m<sup>2</sup>; 2 = 3,16 m<sup>2</sup>; 3 = 4,64 m<sup>2</sup>; 4 = 6,80 m<sup>2</sup>; 5 = 9,95 m<sup>2</sup>; 6 = 14,58 m<sup>2</sup>; 7 = 21,34 m<sup>2</sup>; 8 = 31,26 m<sup>2</sup>.

### 6.2.7. Estado de ápice

El estado del ápice de las progenies de *H. chrysanthus* se encuentran dentro de la categoría buena, en la que principalmente sobresale el espaciamiento 4 con el 74 %; así mismo el mayor promedio de ápices secos se encuentra dentro del espaciamiento 3 con un 7 %; y la categoría de ápice quebrado son las progenies del espaciamiento 7 con el 19 % (Figura 15).

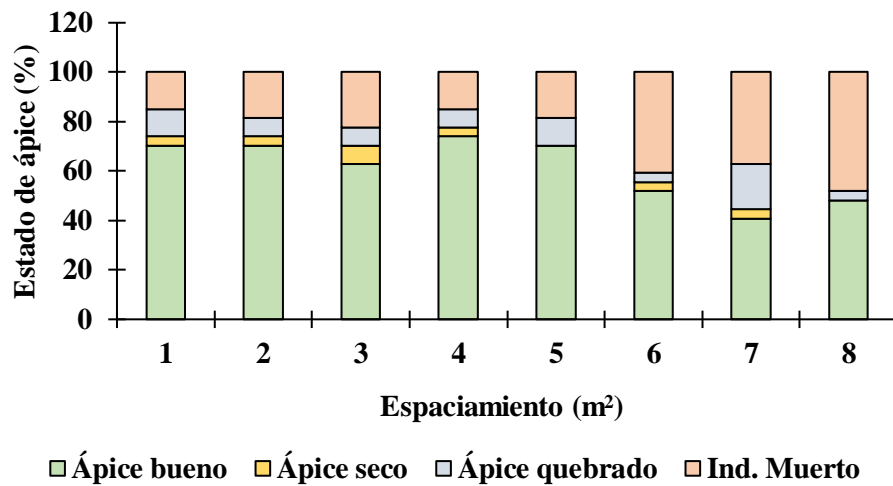


Figura 15. Estado de ápice de progenies de *Handroanthus chrysanthus*, con diferentes espaciamientos, a los 60 meses de edad (n=158). Espaciamientos: 1 = 2,16 m<sup>2</sup>; 2 = 3,16 m<sup>2</sup>; 3 = 4,64 m<sup>2</sup>; 4 = 6,80 m<sup>2</sup>; 5 = 9,95 m<sup>2</sup>; 6 = 14,58 m<sup>2</sup>; 7 = 21,34 m<sup>2</sup>; 8 = 31,26 m<sup>2</sup>.

## 7. Discusión

### 7.1. Estimación de la variabilidad genética de progenies de *H. chrysanthus*

La heredabilidad es considerada como el parámetro más importante a tener en cuenta cuando se implementa cualquier tipo de programa de mejora genética, debido a que mide la importancia relativa de las influencias genéticas y ambientales en los caracteres cuantitativos (Ruales et al., 2007).

En este contexto, la estimativa de coeficiente de heredabilidad individual en el sentido restringido ( $\hat{h}_a^2$ ) fue de media a alta magnitud, variando entre los caracteres dentro de las procedencias de 0,80 a 1,42. Esto indica en general que, existe un alto control genético en los caracteres (diámetro a la base y altura) a los 60 meses de edad y; por lo tanto, la posibilidad de obtener ganancias genéticas con la selección dentro de familias en el ensayo; estos resultados son diferentes de los obtenidos por Moreira et al. (2012) en un estudio de progenies de *Handroanthus vellosi* de 24 años, los valores de ( $\hat{h}_a^2$ ) fueron de 0,26 a 0,32 (diámetro a la base y altura) lo que indica que su coeficiente de heredabilidad individual fue bajo.

Por otro lado, la estimación de la heredabilidad media entre progenies ( $\hat{h}_m^2$ ), aunque variable entre caracteres y procedencias, presentó valores altos ( $\hat{h}_m^2$ : 0,66 a 0,81), indicando un control genético y la posibilidad de obtener ganancia genética en las dos procedencias conservadas *ex situ* por la selección entre progenies; estos resultados son similares a los obtenidos por Sousa et al. (2014) para un ensayo de *Handroanthus avellanadae* de cinco meses, los valores de ( $\hat{h}_m^2$ ) que obtuvieron se consideran altos ( $\hat{h}_m^2$ : 0,58 a 0,62). Según la clasificación de Stanfield (1971), los caracteres se consideran de heredabilidad alta cuando  $\hat{h}_m^2$  es mayor que 0.50.

El coeficiente de variación experimental (CVe) para las dos procedencias varió de 28,98 a 60,60 % para los caracteres (diámetro a la base y altura), los cuales son considerados muy altos ( $\geq 30$  %) (Pimentel, 1990), por tanto, ocurrencia de error tipo II (Judice et al., 2002). Estos resultados son explicados por la afectación antrópica (ganadería, labores silviculturales, incendios forestales, entre otros) y selección natural al ensayo, causando una pérdida considerable de progenies dentro de familias y procedencias. Así, de acuerdo con Nienstaedt



(1990) la variación genética existente en una prueba de procedencias/progenie se debe a las condiciones ambientales a las que esté sometida la especie, por ejemplo, temperatura, precipitación, pH del suelo, la disponibilidad de nutrientes, incidencia de incendios, la competencia de otras especies, presencia de insectos, plagas y enfermedades, etcétera. Estos factores varían entre regiones y ejercen una presión de selección a la que las poblaciones de árboles se tienen que adaptar para sobrevivir.

El coeficiente de variación genética individual (CV<sub>gi</sub>) evidenció la presencia de variabilidad genética, manifestándose en magnitudes del 37 % y 71 %. De acuerdo con Sebbenn et al. (1998), se considera que un coeficiente de variación superior al 7 % es indicativo de una alta variabilidad genética. Este hallazgo sugiere la existencia de individuos destacados dentro de cada familia, lo cual tiene implicaciones significativas para la selección y el aprovechamiento en programas de mejora genética.

La exactitud en las procedencias presentó 84 % de promedio, resultados que según la clasificación propuesta por Resende (2022) de (0,70 a 0,90) como alta en las dos procedencias, por tanto, precisión en control de las causas de variación ambiental en la colecta de datos. Según Gimeno (2003) determina que la diferencia esperada en la progenie (DEP) de ésta puede cambiar, aumentando o disminuyendo, por cuanto, la exactitud o precisión nos mide el riesgo de este cambio.

La adaptabilidad, desarrollo y variabilidad genética de *Handroanthus chrysanthus* está determinado por la temperatura y precipitación, según (Largo, 2017), *Geoffroea spinosa*, *Handroanthus chrysanthus*, *Handroanthus billbergii*, *Simira ecuadorensis* y *Myroxylon peruiferum* se desarrollan mejor en altitudes menores a 270 m s.n.m. hasta 720 m s.n.m., donde la temperatura media anual oscile entre los 23 °C a 25 °C y las precipitaciones estén comprendidas desde 200 mm hasta mayores a 800 mm; al comparar estos requerimientos edafoclimáticos con los del sitio de estudio se puede encontrar que varían significativamente ya que el ensayo de procedencias y progenes se encuentra a una altitud aproximada de 2 100 m s.n.m., con una precipitación media anual de 955 mm y temperatura media anual de 16,2 °C (INAMHI, 2015), esta divergencia puede haber causado que el desarrollo de las progenes se vea afectado.

## **7.2. Evaluación del crecimiento inicial de *H. chrysanthus* con diferentes espaciamientos**

### **7.2.1. Supervivencia**

*Handroanthus chrysanthus* registró una tasa de supervivencia de 73,15 %, a los 60 meses, resultados inferiores a los obtenidos por González et al. (2010) quienes a la misma edad y en estadio sucesional con pastos registraron el 81 %. Esta diferencia puede estar relacionada a las condiciones ambientales, procedencia del material y manejo del área. Por otro lado, Aguirre (2007) registró una supervivencia del 94,2 % a los 24 meses para la misma especie y manifiesta que el guayacán tiene la habilidad para establecerse en áreas degradadas bajo condiciones heterogéneas.

Es importante señalar que, la supervivencia en plantaciones forestales está directamente relacionada a la preparación del terreno, control de malezas/pastos, así como la protección del área plantada durante los primeros tres años, ya que son susceptibles a la competencia y daños mecánicos por animales (Vinuesa, 2017). Cabe resaltar que al ser una especie nativa en plantación pura tiene menor porcentaje de supervivencia al contrario de las especies exóticas (Narváez et al., 2017).

### **7.2.2. Altura y diámetro**

González et al. (2010) en un estudio realizado en bosque húmedo para *Handroanthus chrysanthus* a los 60 meses reportaron crecimientos en diámetro de 1,63 cm y 47,83 cm en altura, confirmando que guayacán es una especie de lento crecimiento; sin embargo, estos resultados son diferentes a los del presente estudio, debido a que nuestros resultados muestran un promedio de diámetro a la base de 3,80 cm y una altura de 97,03 cm a los 60 meses para la misma especie. Lo cual concuerda con el estudio realizado por Fierros et al. (2017), quienes compararon el crecimiento en altura en plantaciones con bosques naturales, y determinaron que las plantaciones tienen un mejor crecimiento en altura, y este crecimiento está relacionado a la aplicación de diferentes tratamientos silviculturales como podas, deshierbes y aclareos ligeros.

El crecimiento de *Handroanthus chrysanthus* también está influenciado porque es una especie nativa. Según Pinargote et al. (2019) las especies nativas, en su mayoría, tienen bajas tasas de crecimiento, presentan desarrollo heterogéneo, son sensibles a condiciones de estrés en el establecimiento y son de rendimiento tardío. Aguirre (2007) manifiesta que *H. chrysanthus*, a partir de años posteriores a su plantación, mejora el crecimiento, además, manifiesta que una

razón para el bajo crecimiento de las especies tolerantes a la sombra es que en sus primeros años invierten sus recursos en producir madera de mejor densidad y calidad.

Otro factor importante que influye en el crecimiento de *H. chrysanthus* es el tipo de diseño empleado, Hummel (2000) determina que el espaciado sistemático de las parcelas Nelder permite analizar varias densidades de plantación en un área reducida. Patiño (1995) menciona que, de acuerdo con la teoría silvícola del crecimiento, el espaciamiento tiene en promedio, mayor influencia en el desarrollo en diámetro que en el crecimiento en altura de los árboles.

García y colaboradores (1992) argumentan que la altura promedio de una especie está influenciada por la edad, densidad y clase de sitio donde está establecida. A partir de esto se puede evidenciar que las tasas de crecimiento en diámetro y altura son diferentes en los espaciamientos 1 y 8 para diámetro y 1 y 6 para altura; estos resultados están relacionados con los resultados en el ANOVA (Anexo 3 y 4) en los cuales se muestra que es el espaciamiento el factor que juega un rol predominante al momento de provocar tasas de crecimientos en diámetro y altura diferentes.

Además, Hummel (2000) manifiesta que la relación entre el diámetro y la densidad en árboles de *Cordia alliodora* fue lineal y negativa; y que la altura no se asoció significativamente con las densidades de plantación del diseño. Por lo que la relación del incremento en altura en los espaciamientos puede ser el resultado de las densidades utilizadas en el diseño Nelder, o de un tamaño de muestra pequeño. Una desventaja de este sistema es la mortalidad, la cual puede afectar en el crecimiento de los cuatro árboles adyacentes; ante ello, se debe reducir tal efecto procurando la replicación del diseño y en etapas tempranas del experimento, hacer replantación (Aguilar, 2019).

### **7.2.3. Herbivoría y estado fitosanitario**

El consumo de tejidos vegetales vivos (herbivoría) es un proceso fundamental en todos los ecosistemas terrestres y relevantes para la biodiversidad, la productividad y la estabilidad de los ecosistemas (Barone y Coley, 2002). Se considera herbivoría cuando cualquier parte de la lámina foliar es dañada por herbívoros, insectos, cortadores, chupadores, masticadores o minadores (Zangerl, et al., 2002).

De acuerdo a Pereira et al. (2014) mencionan que el patrón de herbivoría fue 2,7 veces mayor en especies caducifolias que en especies perennes, similar al descrito por Dirzo y Boege (2008) como patrón de herbivoría en bosques secos. Según Coley y Barone (1996) y Dirzo y Boege (2008), la herbivoría en especies caducifolias es mayor que en especies perennifolias porque éstas presentan defensas mecánicas y químicas que actúan como repelentes o tienen efectos tóxicos sobre los herbívoros. *Handroanthus chrysanthus* presentó un 64,01 % de herbivoría, lo que concuerda con lo mencionado anteriormente ya que es una especie caducifolia.

## 8. Conclusiones

- *Handroanthus chrysanthus* presenta variabilidad genética para los caracteres evaluados a nivel de procedencias y progenies, esto confirma la existencia de individuos destacados dentro de cada familia, lo cual tiene implicaciones significativas para el aprovechamiento en programas de mejora genética y reforestación; además, constituye un aporte a los investigadores para establecer estrategias de manejo y propagación de la especie.
- Las progenies de *Handroanthus chrysanthus* procedentes de Virgenpamba tuvieron mayor porcentaje de sobrevivencia, crecimiento en altura y diámetro a la base, que la procedencia de Jipiro Alto, esto se debe a que los individuos de Virgenpamba, a los cinco años de edad, se adaptaron a las condiciones ambientales del ensayo en comparación con las procedencias de Jipiro Alto.
- Los espaciamientos de plantación de las progenies de *Handroanthus chrysanthus* según el método NELDER influyen en el crecimiento en altura y diámetro a la base, por lo que al ser una especie heliófita durable a menor espaciamiento de siembra tiende a competir por luz solar y nutrientes, lo que hace que crezca en altura, mientras que a mayor espaciamiento se da una menor competencia entre individuos por lo que presenta mayor crecimiento en diámetro a la base, esta información contribuye al conocimiento y ecología de la especie.
- Existe variación genética en los caracteres estudiados, siendo mayor para altura, lo que representa posibilidad de selección de individuos intra y entre familias para el mejoramiento genético de la especie y conservación de germoplasma.

## 9. Recomendaciones

- Continuar con el monitoreo del ensayo de progenies/procedencias de *Handroanthus chrysanthus* establecido en la Estación Experimental “La Argelia” perteneciente a la Universidad Nacional de Loja con el propósito de fortalecer estrategias de conservación, mejoramiento genético y futuras investigaciones con la especie.
- Complementar los estudios genéticos con análisis de variables climáticas con la finalidad de evaluar la respuesta a la adaptabilidad de *Handroanthus chrysanthus* a los cambios climáticos.
- Tomar en consideración el ataque de herbivoría obtenido en la presente investigación para la planificación de futuras investigaciones similares.
- Las áreas experimentales de la Carrera de Ingeniería Forestal deben ser monitoreadas y manejadas con el fin de fortalecer las investigaciones desarrolladas para la formación de futuros profesionales.

## 10. Bibliografía

- Aguirre, Z. (2012). Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Quito, Ecuador: Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio.
- Abbott, L. y Pistorale, S. (2010). Determinación de componentes de la varianza y heredabilidad en cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.). *Agriscientia*, 115- 123.
- Aguilar, J. (2019). Diseños Nelder en la investigación forestal: Una revisión. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 7-25.
- Aguirre, N. (2007). Aportes silvícolas a la reforestación con especies nativas.: TU Munchen: Lehrstuhl für Waldbau.
- Aguirre, Z., Loja, A., Solano, M. y Aguirre, N. (2015). Especies Forestales más aprovechadas del Sur del Ecuador. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Aitken, S. (2004). Genecología y Adaptación de Árboles Forestales. Genética y genética. Elsevier, 197-204.
- Aldana, E. (2008). Medición Forestal. Pinar del Río.
- Alvarado, J. (2018). Variabilidad genética de progenies de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O. Grose para fines de conservación. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Baena, M., Jaramillo, S. y Montoya, J. (2003). Material de apoyo a la capacitación en conservación *in situ* de la diversidad vegetal en áreas protegidas y en fincas. Cali, Colombia.: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Balocchi, C. y Delmastro, R. (1993). Principios de Genética Forestal. Valdivia: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile.
- Barner, H., Ditlevsen, B. y Olesen, K. (1992). Introducción a la mejora de árboles. Dinamarca.
- Barone, J. y Coley, P. (2002). Herbivorismo y las defensas de las plantas. En *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales* (págs. 466-492). Cartago: Libro Universitario Regional.

- Barros, G. (2001). Ecología de polinización de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. y Gancho. y *T. ochracea* (Cham.) Standl. (Bignoniaceae) en la vegetación del cerrado del centro de Brasil. Brasil: Revista brasileira de botânica.
- Barros, M. P., Rocha, R., Xavier, A. y Cruz, A. (2006). Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos REML/BLUP e da ANOVA. 99 - 107. Scientia Forestalis.
- Bono, J. (2019). Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: manual de campo. Buenos Aires: Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Boshier, D. y Lamb, A. (1997). Genética y mejoramiento de árboles. Reino Unido: Oxford Forestry Institute.
- Burdon, R. (1995). Direcciones futuras en el mejoramiento genético de árboles: algunas preguntas sobre qué debemos buscar y cómo gestionar el recurso genético. Canadá: J. Lavereau.
- Cargnelutti, A. y Storck, L. (2007). Estadísticas de evaluación de la precisión experimental en ensayos de cultivares de maíz. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 17-24.
- CEPAL. (2021). La pérdida de los bosques de América Latina y el Caribe 1990–2020: evidencia estadística. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Cheplick, G. (2003). Importancia evolutiva de la variación genotípica en las normas de reacción de desarrollo de pastos perennes bajo estrés competitivo. Evol Eco.
- Coley, P. y Barone, J. (1996). Herbivoría y defensas vegetales en los bosques tropicales. Rev. Ecol.System, 305-335.
- CONABIO. (2020). *Biodiversidad mexicana*. Obtenido de <https://www.biodiversidad.gob.mx/genes/vargenetica>
- Degen, B. y Sebbenn, A. (2014). Genética y Bosques Tropicales. Manual de Silvicultura Tropical, [S.L.], pág. 1-30, 2014. Springer Berlín Heidelberg. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8\\_75-1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8_75-1).



- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). Infostar versión 2020. Centro de Transferencia Infostat, FCA. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Dirzo, R. y Boege, K. (2008). Patrones de herbivoría y defensa en bosques tropicales secos y lluviosos. CARSON, W.P. y SCHNITZER, S.A Ecología de comunidades de bosques tropicales, 63-78.
- Eriksson, G., Ekberg, I. y Chapham, D. (2006). Una introducción a la genética forestal. Suecia: Departamento de Biología Vegetal y Genética Forestal, SLU.
- Espitia, E., Martínez, E., Villaseñor, H. y Hortelano, R. (2022). Variabilidad genética y criterios de selección del rendimiento y los componentes en trigos harineros de temporal. *Rev. Mex. Cienc. Agrícola*.
- Esquivel, H., Ibrahim, M., Harvey, C., Benjamin, T. y Sinclair, F. (2011). Árboles dispersos en pastizales de fincas ganaderas en un ecosistema seco tropical. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*.
- Falconer, A. (1989). Introducción a la genética cuantitativa. Nueva York: Longman.
- Falconer, D. (1986). Introducción a la genética cuantitativa. Segunda edición en español de la segunda en inglés. México D.F: Compañía Editorial Continental S:A.
- Falconer, D. y Mackay, T. (1996). Introducción a la genética cuantitativa. Zaragoza: Acribia, S.A.
- Ferreira, A., Oliveira, D. y Salles, S. (2013). Autoesterilidad en el hexaploide *Handroanthus serratifolius* (Bignoniaceae), la flor nacional de Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 714-722.
- Fierros, R., Santos, H., Fierros, M. y Cruz, F. (2017). Crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Agrociencia vol.51 no.2* .
- Flores, C., López, J. y Valencia, S. (2014). Manual Técnico para el Establecimiento de Ensayos de Procedencia/Progenie. México: Comisión Nacional Forestal.

- Futuyma, D. (2005). *Evolución*. Sunderland, Massachussets. Estados Unidos: Sinauer Associates.
- Gallego, A. y Araneda, C. (2018). *Genética cuantitativa*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, C., Parraguirre, C. y Rodríguez, B. (1992). Modelos de crecimiento para una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King). *Revista Ciencia Forestal en México*, 87-102.
- Gimeno, D. (2003). Aspectos que se deben considerar en la interpretación de la información genética. Proyecto Merino Fino Del Uruguay , 51-58.
- Gómez, R., Toro, J. y Piedrahita, E. (2013). *Propagación y conservación de especies arbóreas nativas*. Medellín: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.
- González, D., Poma, R., Ordoñez, M. y Aguirre, N. (2010). Crecimiento Inicial de *Tabebuia chrysantha* y *Cedrela montana* con fines de rehabilitación de áreas abandonadas en el trópico húmedo ecuatoriano. *Ecología Forestal*, 73-80.
- Gradstein, S. (2015). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Grose, S. y Olmstead, R. (2007). Tropicos. Obtenido de <https://tropicos.org/name/50313355>
- Gutiérrez, B., Ipinza, R. y Barros, S. (2015). *Conservación de Recursos Genéticos Forestales, Principios y Prácticas*. Chile: Instituto Forestal.
- Hartmann, H. y Kester, D. (1997). *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. California: Editorial Continental S. A.
- Hummel, S. (2000). Altura, diámetro y dimensiones de la copa de *Cordia alliodora* asociados con la densidad del árbol. *Ecología y gestión forestal*, 31-40.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Datos meteorológicos de Loja, sector Argelia*. Loja.
- Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Hemhart, V. (1998). *Mejora Genética Forestal Operativa*. Valdivia.

- Jara, L. (1995). Mejoramiento forestal y conservación de recursos genéticos forestales. Costa Rica: CATIE.
- Jarvis, D., Myer, L., Klemick, H., Guarino, L., Smale, M., Brown, A., . . . Hodgkin, T. (2000). Una guía de capacitación para la conservación *in situ* en granjas. Roma, Italia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).
- Jørgensen, P. y León-Yáñez, S. (1999). Catálogo de plantas vasculares de Ecuador. Saint Louis, USA. : Missouri Botanical Garden.
- Judice, M., Muniz, A. y Carvalheiro, R. (2002). Avaliação da precisão experimental em ensaios com bovino de corte. *Ciência e Agrotecnologia*, 1035-1040.
- Julca, A., Meneses, L. y Blas, R. B. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *SCIELO*, 49-61.
- Largo, R. (2017). Distribución geográfica de especies nativas arbóreas basada en los requerimientos ecológicos en el Cantón Zapotillo, provincia de Loja, Ecuador. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Loo, J. (2011). Principios aplicados de genética para la conservación de la diversidad biológica. México: CONAFOR.
- MAAE. (2021). Guía para la identificación dendrológica y anatómica de 29 especies maderables. Quito: Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible.
- Manrique, N., Gil, P. y Morales, M. (2018). Fitofenología y estrategias reproductivas. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Marquina, J. (2010). Mejoramiento genético forestal. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.
- Martins, K., Ribas, M. y Moreno, L. (2008). Consequências genéticas da regeneração natural de espécies arbóreas em área antrópica, AC, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 897-904.
- Meza, M. (2018). Medición del diámetro (DAP) de un árbol. Ciudad de México: Universidad Autónoma de México.

- Moreira, C., Menezes, M., Aparecida, M., Scatena, A., Santos, P., Zanata, M., . . . Magno, A. (2012). Estimativas de parâmetros genéticos e a variabilidade em procedências e progênies de *Handroanthus vellosi*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 269-276.
- Moto, P. (2005). Plantas medicinales del bosque seco cantón Zapotillo y Macará. Loja: UNL-COSV.
- Murillo, O., Espitia, M. y Castillo, C. (2017). Conceptos del mejoramiento genético forestal. Honduras: Universidad Nacional de Ciencias Forestales.
- Narváez, M., Aguirre, N. y Maldonado, M. (2017). Efecto de la introducción de especies forestales en suelos degradados en procesos de restauración ecológica en el sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 22-38.
- Nienstaedt, H. (1990). Importancia de la sección natural, In: Memoria del Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. *Centro de Genética Forestal, A. C.*, 16-18.
- OIMT. (2004). Anteproyecto para la conservación y manejo de los recursos genéticos de los Bosques Nativos Tropicales del Ecuador.
- Oleas, N. (2014). Métodos para el Estudio de Flujo Genético en Plantas. Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica .
- Palma, J. (2018). El hábitat del guayacán (*Tabebuia chrysantha* Jacq G. Nicholson) en los suelos del cantón Junín, Manabí, Ecuador.
- Patiño, F. (1995). El espaciamiento en plantaciones forestales . *Revista Ciencia Forestal en México*, 67-81.
- Pedroso, H., Rocha-Filho, L. y Lomonaco, C. (2010). Variación fenotípica de plantas del Cerrado brasileño frente a la heterogeneidad ambiental. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 24-36.
- Pérez, J. (2007). Etnobotánica del área de conservación Mangahurco: Baños del Inca del cantón Zapotillo Provincia de Loja. Loja: Tesis Ingeniero Forestal. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja.

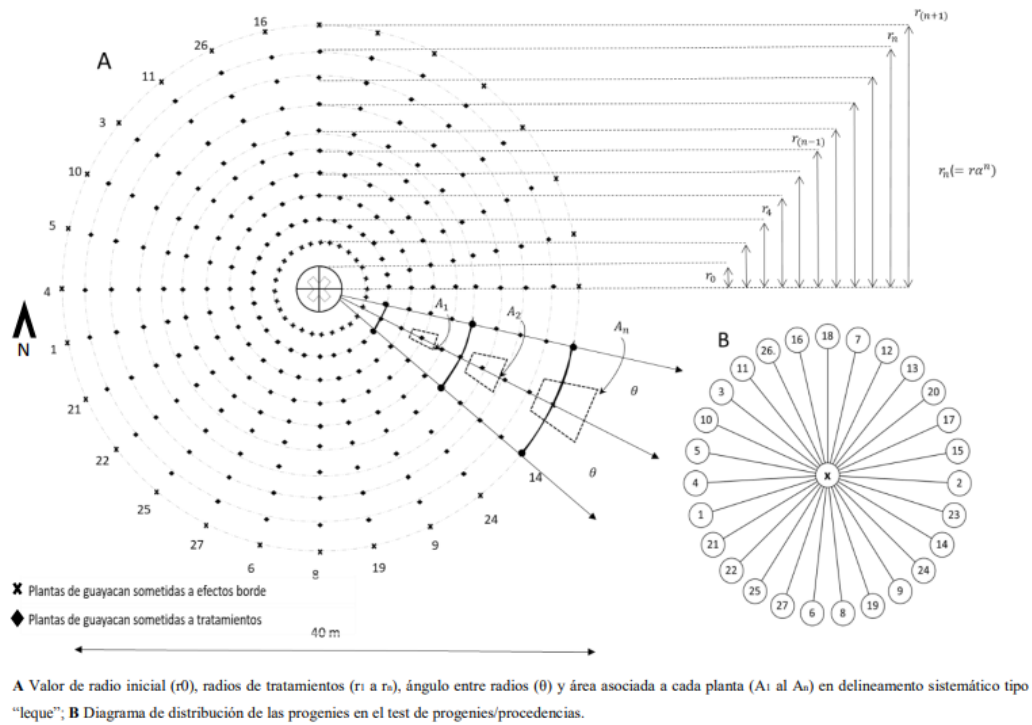
- Pennington, T. y Sarukhán, J. (2005). Manual para la identificación de las principales especies forestales. México: UNAM.
- Pereira, A., Andrade, S. y Martins, M. (2014). Herbivoria foliar em plantas da Caatinga do nordeste brasileiro. *Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia*.
- Pigliucci, M. (2001). Plasticidad fenotípica: más allá de la naturaleza y la crianza. Baltimore: Prensa de la Universidad John Hopkins.
- Pimentel, F. (1990). Curso de Estadística Experimental. Piracicaba, Brasil: Librería Nobel S.A.
- Pinargote, J., Quiñonez, K., Mero, O., Ramos, M. y Cabrera, C. (2019). Desarrollo inicial en plantaciones de *Ziziphus thyriflora* Benth, *Geoffroea spinosa* Jacq Y *Handroanthus chrysanthus* Jacq. En Jipijapa, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 73-84.
- Ramírez, L. y Egaña, B. (2003). Guía de conceptos de genética cuantitativa. España: Universidad Pública de Navarra.
- Resende, M. (1995). Delineamento de experimentos de seleção para maximização da acurácia seletiva e do progresso genético. *Revista Árvore*, 479-500.
- Resende, M. (2002). Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasil: Embrapa Informação Tecnológica.
- Resende, M. (2016). SELEGENREML/BLUP: sistema estatístico y selección genética computadorizada a través de modelos lineales mixtos. Colombo-Brasil: Embrapa Florestas.
- Riina J., Thong HL. y Leong LS. (2014). Integración de factores genéticos en el manejo de los bosques de producción de Asia tropical: una revisión del conocimiento actual. *For Ecol Manage* 315:191–201.
- Rival, A. y Durand-Gasselin, T. (2013). Genotipo y fenotipo. Exploración de la caja negra de los mejoradores. Francia.
- Rivas, G., Mendoza, Z., González, A., Gonzalez, E., Mendoza, N. y Paredes, D. (2015). Pasado, Presente Y Futuro De Los “Guayacanes” *Handroanthus Chrysanthus* (Jacq.) So Grose

- Y Handroanthus Billbergii* (Bureau & K. Schum.) So Grose, De Los Bosques Secos De Loja, Ecuador. Loja: ARNALDOA.
- Ruales, F., Manrique, C. y Cerón, M. (2007). Fundamentos en mejoramiento animal. Medellín: L. Vieco e Hijas Ltda.
- Santamarta, J. (2022). Argentina Ambiental. Obtenido de <https://argentinambiental.com/notas/informes/la-perdida-la-diversidad-genetica-especies-ecosistemas-uno-los-mayores-peligros-futuro-la-humanidad/>
- Sebbenn, A. S., Kageyama, P. y Machado, J. (1998). Parámetros genéticos en la conservación de la cabreúva-*Myroxylon peruiiferum* L.F. Scientia Forestalis, 31-38.
- Sierra, R., Calva, O. y Guevara, A. (2021). La deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes. Quito: Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador.
- Silva, R., García, P., Faleiro, D. y Lopes, C. (2018). Determinación de componentes de la varianza y parámetros genéticos en una población segregante de maíz tropical. Venezuela: Bioagro.
- Sousa, K., Zonneveld, M. y Casanoves, P. (2017). Atlas de aptitud de especies agroforestales claves bajo climas futuros en América Central. Turrialba-Costa Rica.: CATIE.
- Sousa, L., Cabral, G. y Guedes, R. (2014). Variabilidad genética entre e dentro de progênies de Ipê rosa (*Handroanthus avellanadae* (Lorentz ex Griseb.) Mattos (Bignoniaceae) . Global Science and Technology, 98-105.
- Slatkin, M. (1985). Flujo genético en poblaciones naturales. Revista Anual de Ecología y Sistemática.
- Stanfield, W. (1971). Genética. Teoría y 400 Problemas Resueltos. México: McGraw Hill.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2020). IUCN. Obtenido de <https://www.iucnredlist.org/es/species/146784568/146784570>
- Urbina, E. (2017). Endogamia, heterosis y métodos cuantitativos. México: Universidad Autónoma del Estado de México.

- Valencia, H. (2014). *Cienciamx*. Obtenido de <http://www.cienciamx.com/index.php/vocabulario/17214-progenie>
- Villacís, G., Aguirre, Z., González, A., Benítez, E. y Aguirre, N. (2015). Pasado, presente y futuro de los guayacanes de los bosques secos de Loja, Ecuador.
- Vinueza, M. (2012). Fichas técnicas de especies forestales: Guayacán. Ecuador: Ecuador Forestal.
- Vinueza, M. (2017). Ecuador Forestal. Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-6-guayacan/>
- Wellendorf, H. y Ditlevsen, B. (1992). Introducción a la genética forestal. Humlebaek, Dinamarca.
- White, T., Adams, T. y Neale, D. (2007). Genética forestal. USA: CAB Internacional.
- Yanchuk, A. (2001). Un marco cuantitativo para el mejoramiento y la conservación de los recursos genéticos de árboles forestales en Columbia Británica. 566–576.
- Zangerl, A., Hamilton, J., Miller, T., Crofts, A., Oxborough, K., Berembaum, M. y Delucia, E. (2002). El impacto del folívoro en la fotosíntesis es mayor que el sol de sus agujeros. *Proc. Natl. Acad. Science*, 1088-1091.
- Zobel, B. y Talbert, J. (1988). Técnicas de mejoramiento de árboles forestales. Distrito Federal, México: Limusa.

## 11. Anexos

Anexo 1. Delineamiento sistemático “leque” de instalación del ensayo de procedencias y progenies de *Handroanthus chrysanthus*.



Fuente: Alvarado (2018).

Anexo 2. Colecta de datos a los 60 meses de crecimiento en progenies de *Handroanthus chrysanthus*.





Anexo 3. Análisis de la varianza del diámetro a la base (ANOVA) en progenies de *Handroanthus chrysanthus*.

Análisis de la varianza

DB

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DB	216	0.07	0.04	72.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	67.07	7	9.58	2.35	0.0246
Espaciamiento	67.07	7	9.58	2.35	0.0246
Error	846.27	208	4.07		
Total	913.34	215			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.66743

Error: 4.0686 gl: 208

Espaciamiento	Medias	n	E.E.	
8	1.96	27	0.39	A
6	2.13	27	0.39	A B
7	2.32	27	0.39	A B
3	2.85	27	0.39	A B
2	3.00	27	0.39	A B
4	3.11	27	0.39	A B
5	3.29	27	0.39	A B
1	3.66	27	0.39	B

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

Anexo 4. Análisis de la varianza de la altura (ANOVA) en progenies de *Handroanthus chrysanthus*.

ALTURA

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ALTURA	216	0.06	0.03	91.93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	60851.80	7	8693.11	2.02	0.0542
Espaciamiento	60851.80	7	8693.11	2.02	0.0542
Error	895774.23	208	4306.61		
Total	956626.03	215			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=54.24924

Error: 4306.6069 gl: 208

Espaciamiento	Medias	n	E.E.	
6	48.41	27	12.63	A
8	52.24	27	12.63	A B
7	59.17	27	12.63	A B
4	72.90	27	12.63	A B
5	77.80	27	12.63	A B
3	77.94	27	12.63	A B
2	78.44	27	12.63	A B
1	104.16	27	12.63	B

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

Anexo 5. Certificación de traducción del resumen

**CERTIFICATE OF TRANSLATION**

I, Dunia Vivanco V, am competent to translate from Spanish into English and certify that the translation of this abstract "Estimation of genetic parameters in progenies of *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O. Grose in Hoya de Loja"

is true and accurate to the best of my abilities

Dunia Vivanco V.



Name of Translator

Signature of Translator

**Address:** Tribuno and 8 de Diciembre

Phone number: 0983509620

**Lic. Dunia Vivanco Vélez**  
**ESL. teacher**  
TRADUCCIÓN E INTERPRETACIÓN DE IDIOMAS  
INGLES - ESPAÑOL ESPAÑOL - INGLES  
Traductora Certificada MDT-3104-DCL 276.26