



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA PARA LA  
PRODUCCIÓN SUSTENTABLE**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA PARA LA  
PRODUCCIÓN SUSTENTABLE**

**Respuesta comparativa a dos técnicas de acodo aéreo como alternativa en la  
propagación vegetativa del árbol palo-escrito (*Dalbergia palo-escrito* sp. n.)**

**Para obtener el título de Licenciatura**

**PRESENTA**

**Sonia Abigail Contreras Téllez**

**Director de la tesis:**

**Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos**

**Codirector de Tesis:**

**Dr. Fernando López Valdez**

**Comité tutorial:**

**Dra. Iridiam Hernández Soto**

**Dra. Nallely Trejo González**

Tulancingo de Bravo, Hgo., a 30 de septiembre del 2025.



# Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

*Institute of Agricultural Sciences*

**Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales**

*Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences*

Asunto: Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**

Directora de Administración Escolar de la UA EH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a él pasante de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía para la Producción Sustentable, **Sonia Abigail Contreras Téllez**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Respuesta comparativa a dos técnicas de acodo aéreo como alternativa en la propagación vegetativa del árbol palo-escrito (*Dalbergia palo-escrito* sp. n.)"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

**PRESIDENTE**  
**SECRETARIO**  
**VOCAL 1**  
**VOCAL 2**  
**VOCAL 3**

Dra. Nallely Trejo González  
Dra. Iridiam Hernández Soto  
Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos  
Dr. Fernando López Valdez  
Dr. Abraham Monteón Ojeda

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

ATENTAMENTE

Tulancingo de Bravo, Hgo., a 30 de septiembre del 2025.

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos  
Coordinador del PE de Ingeniería  
en Agronomía para la Prod. Sust



c.c.p. Archivo.

Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,  
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,  
México, C.P. 43775.  
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173  
profe\_5566@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de tesis Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos, por compartir sus conocimientos, por su valioso tiempo, paciencia y disposición para resolver dudas durante este largo trayecto a la elaboración de tesis

A mi codirector de tesis Dr. Fernando López Valdez que sus aportes a la investigación han sido mi fuente de inspiración para realizar este trabajo.

A mi comité tutorial Dra. Iridiam Hernández Soto y Dr. Nallely Trejo González, por sus sugerencias, comentarios y aportaciones que han ayudado a mejorar este trabajo.

Mi agradecimiento también a la Ing. Sofía López Márquez e Ing. Brayan Riveros por su gran ayuda en campo, especialmente para la realización de los acodos y estar al pendiente de ello.

Al instituto de ciencias agropecuarias por permitir usar sus instalaciones en el vivero para poder realizar el proyecto de investigación.

A mi familia, especialmente a mis padres Paulina y Jorge por motivarme a seguir estudiando, además de su apoyo incondicional durante todo este tiempo. También a mi hermana Érika que siempre ha estado al pendiente de mí y motivándome cada día, y mis queridos sobrinos que siempre son la luz de mis días. Gracias por siempre estar a mi lado y creer en mis capacidades.

## **DEDICATORIA**

Principalmente quiero agradecer a Dios que ha sido mi soporte durante todo este trayecto y que me da la fuerza de seguir adelante, a mi mamá Paulina Téllez, la mujer que me inspira todos los días a luchar por un mejor futuro, a mi papá Jorge Contreras que me enseñó a ser persistente y paciente en las cosas que quiero lograr.

A mi hermana Erika que siempre ha estado presente, que me brinda su apoyo y me motivo a concluir este trabajo.

A mi director de tesis Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos que además de su gran apoyo y paciencia para enseñarme, me dio muchas motivaciones para seguir adelante y se ha convertido en un gran amigo, muchas gracias por su valioso tiempo.

Esta dedicado a mi alma mater, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP) lugar donde realice mis estudios universitarios como Ingeniero Agrónomo

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**AIB** Ácido Indol-3- Butírico.

**BMM** Bosque Mesófilo de Montaña

**BTC** Bosque Tropical Caducifolio

**BTSC** Bosque Tropical Subcaducifolio

**CITES** Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres

**DAP** Diámetro a la Altura del Pecho

**FAO** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**PROFEPA** Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

## CONTENIDO

|                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>                                                                               | <b>1</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                        | <b>2</b>  |
| 1.1. Descripción taxonómica de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n.....                            | 3         |
| 1.2. Morfología general del <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n.....                               | 4         |
| 1.3. Características anatómicas y físicas de la madera de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n..... | 9         |
| 1.4. Relaciones interespecíficas .....                                                             | 10        |
| 1.5. Plagas .....                                                                                  | 10        |
| 1.6. Reproducción .....                                                                            | 11        |
| 1.7. Importancia de la propagación vegetativa en especies forestales .....                         | 12        |
| 1.8. Ventajas y desventajas de la propagación vegetativa.....                                      | 13        |
| 1.9. Reproducción vegetativa por acodos.....                                                       | 14        |
| 1.10. Bases fisiológicas para formación de acodos aéreos.....                                      | 15        |
| 1.11. Factores que favorecen la propagación por acodos.....                                        | 15        |
| 1.12. Formación de raíces adventicias .....                                                        | 16        |
| 1.13. Callo .....                                                                                  | 17        |
| 1.14. Estructura del tallo y enraizamiento.....                                                    | 18        |
| 1.15. Época.....                                                                                   | 19        |
| 1.16. Sustancias promotoras del enraizamiento .....                                                | 20        |
| <b>2. ANTECEDENTES .....</b>                                                                       | <b>22</b> |
| 2.1 Importancia económica de la especie .....                                                      | 22        |
| 2.2 Factores de riesgo para la especie.....                                                        | 22        |
| 2.3 Conservación de la especie.....                                                                | 25        |
| <b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>                                                                      | <b>26</b> |
| <b>4. OBJETIVOS .....</b>                                                                          | <b>27</b> |
| Objetivo general .....                                                                             | 27        |
| Objetivos específicos.....                                                                         | 27        |
| <b>5. HIPÒTESIS .....</b>                                                                          | <b>28</b> |
| <b>6. MATERIALES Y MÈTODOS.....</b>                                                                | <b>29</b> |

|                                                                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.1. Descripción del área de estudio .....                                                                                              | 29        |
| 6.2. Ubicación y croquis del lugar de recolección de semilla de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....                               | 30        |
| 6.3. Proceso de propagación y trasplante de la semilla. ....                                                                            | 30        |
| 6.4 Tratamientos de técnicas de acodo aéreo en la formación de tejido regenerativo en<br><i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n.....       | 31        |
| 6.5. Análisis estadístico .....                                                                                                         | 31        |
| 6.6. Manejo del Riego.....                                                                                                              | 32        |
| 6.7. Procedimientos para la realización de acodos en <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....                                          | 32        |
| 6.8. Evaluación de los Acodos.....                                                                                                      | 42        |
| <b>7. RESULTADOS.....</b>                                                                                                               | <b>43</b> |
| 7.1 Evaluación de técnicas de acodo aéreo en la formación de tejido regenerativo en <i>Dalbergia</i><br><i>palo-escrito</i> sp. n. .... | 44        |
| 7.2 Trasplante y floración de las varetas acodadas.....                                                                                 | 48        |
| 7.3 Plagas y enfermedades encontradas a lo largo del estudio experimental. ....                                                         | 49        |
| <b>8. DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>                                                                                                  | <b>51</b> |
| <b>9. CONCLUSIONES.....</b>                                                                                                             | <b>52</b> |
| <b>10. REFERENCIAS .....</b>                                                                                                            | <b>53</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Fisonomía de las hojas de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....                                                                                         | 5  |
| <b>Figura 2.</b> Inflorescencia de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....                                                                                                 | 6  |
| <b>Figura 3.</b> Flores de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....                                                                                                         | 7  |
| <b>Figura 4.</b> Vaina de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....                                                                                                          | 8  |
| <b>Figura 5.</b> Semilla de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....                                                                                                        | 9  |
| <b>Figura 6.</b> Madera de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....                                                                                                         | 10 |
| <b>Figura 7.</b> Daño causado a la semilla por insecto posiblemente de la familia Brentidae. ....                                                                            | 11 |
| <b>Figura 8.</b> Sitio experimental. ....                                                                                                                                    | 29 |
| <b>Figura 9.</b> Coordenadas geográficas del sitio de recolección de semillas de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp.n. ....                                                    | 30 |
| <b>Figura 10.</b> Materiales para la realización de acodos aéreos. ....                                                                                                      | 33 |
| <b>Figura 11.</b> Medición de ramas utilizando un vernier marca Mitutoyo. ....                                                                                               | 34 |
| <b>Figura 12.</b> Realización de corte en ramas para acodo. ....                                                                                                             | 35 |
| <b>Figura 13.</b> Retiro total de la corteza en el proceso de acodo. ....                                                                                                    | 36 |
| <b>Figura 14.</b> Retiro parcial de corteza en el proceso de acodo. ....                                                                                                     | 37 |
| <b>Figura 15.</b> Aplicación de enraizador Radix 10000® en la rama acodada. ....                                                                                             | 38 |
| <b>Figura 16.</b> Cobertura del acodo con turba y acolchado. ....                                                                                                            | 39 |
| <b>Figura 17.</b> Amarre del acodo utilizando rafia. ....                                                                                                                    | 40 |
| <b>Figura 18.</b> Aplicación controlada de agua para mantener la humedad en el acodo utilizando jeringa. ....                                                                | 41 |
| <b>Figura 19.</b> Evaluación del peso fresco y seco de las raíces obtenidas del acodo. ....                                                                                  | 42 |
| <b>Figura 20.</b> Efecto de diferentes técnicas de acodo y aplicación de Radix 10000® sobre el aumento de biomasa de la raíz de <i>Dalbergia palo-escrito</i> sp. n. ....    | 45 |
| <b>Figura 21.</b> Raíces adventicias obtenidas a los 175 días bajo la técnica de acodo total. ....                                                                           | 46 |
| <b>Figura 22.</b> Resultado de la técnica de acodo parcial. ....                                                                                                             | 47 |
| <b>Figura 23.</b> Floración de vareta a 180 días aproximadamente. ....                                                                                                       | 48 |
| <b>Figura 24.</b> Plagas y enfermedades. <b>A</b> , Cochinilla acanalada. <b>B</b> , Pulgón. <b>C</b> , Mosquita blanca. <b>D</b> , Tetraniquidos. <b>E</b> , Fumagina. .... | 50 |

**LISTA DE TABLAS**

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas de la propagación vegetativa.....13

**Tabla 2.** Análisis fisicoquímico del suelo en el sitio experimental. ....43

## RESUMEN

La investigación evaluó dos técnicas de propagación vegetativa del árbol palo-escrito (*Dalbergia palo-escrito* sp. n) mediante la técnica de acodo aéreo con la finalidad de hacer la multiplicación clonal de esta especie, la cual se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2019), debido a su explotación excesiva por tala clandestina e incidencia de insectos de la familia *Brentidae* (Hernandez-Uribe, Guevara-Herrera, Velasco-Castillo et al., 2020) quien en su fase inicial de formación de semilla, la larva eclosiona para alimentarse del par de hojas cotiledóneas, eclosionando en adulto y limita la reproducción de esta especie por semilla.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y una prueba de medias de diferencias mínimas significativas de Fisher al 95% de confianza estadística. Los tratamientos fueron: anillado completo (100% de retiro de la corteza + Radix 10000<sup>®</sup>), anillado parcial (50% de retiro de la corteza + Radix 10000<sup>®</sup>) y testigo (100% retiro de la corteza sin Radix 10000<sup>®</sup>) para evaluar la formación de raíces adventicias en los acodos de *Dalbergia palo-escrito* sp. n. Se evaluaron 120 acodos bajo condiciones de agricultura protegida durante 175 días.

Los resultados mostraron que el anillado completo fue más efectivo en la formación de raíces adventicias, superando al anillado parcial y al testigo, que no desarrollaron raíces ni callo, además se acortaron 16 años entre su etapa vegetativa-reproductiva utilizando este método por acodo aéreo. En conclusión, se recomienda realizar acodos durante más de 175 días, ya que se detectó un alto número de acodos con potencial para generar raíces adventicias. Esto sugiere que un mayor tiempo de desarrollo podría mejorar la propagación vegetativa, favoreciendo la conservación y reforestación de la especie. Se recomienda la propagación vegetativa mediante acodo aéreo como una estrategia para garantizar su multiplicación de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

**Palabras clave:** acodo aéreo, propagación vegetativa, *Dalbergia palo escrito* sp. n, anillado completo, anillado parcial, raíces adventicias.

## 1. INTRODUCCIÓN

*Dalbergia palo-escrito* sp. n es una especie de árbol de las fabáceas autóctono del bosque mesófilo montañoso (BMM) de la Sierra Madre Oriental, localizado principalmente en Hidalgo, así como en áreas cercanas de los estados de Querétaro y San Luis Potosí, México (Rzedowski y Guridi-Gómez, 1988). En Hidalgo, principalmente se desarrollan los BMM en las pendientes de la Sierra Madre Oriental, que están expuestas a los vientos húmedos provenientes del Golfo de México, con una altitud que oscila entre 750 y 2400 metros (Luna-Vega y Alcántara Ayala, 2004). Los bosques mesófilos de montaña (BMM) se encuentran entre los ecosistemas terrestres más en peligro a nivel nacional. Sin embargo, su relevancia se destaca por la excepcional biodiversidad que representan y los servicios de agua que brindan (CONABIO, 2010). Con menos del 1% de superficie del territorio nacional albergan cerca del 10% de la flora vascular (Villaseñor, 2010), con un alto porcentaje de endemismo, este bosque es de gran relevancia por capturar y controlar los flujos de agua y contribuye a satisfacer el consumo humano, proporciona servicios ambientales, como la captura de carbono, disminución de la erosión. En la actualidad, las comunidades mexicanas del género *Dalbergia* se encuentran en riesgo debido a la explotación excesiva y al tráfico ilícito, así como a la deforestación y fragmentación de sus hábitats, y la falta de estrategias efectivas para su conservación (Cervantes et al., 2019).

El género *Dalbergia* tiene una distribución pantropical y comprende alrededor de 250 especies (Vatanparast et al., 2013). En México se encuentran 20 especies, 5 especies de *Dalbergia* son nativas, entre las especies se incluyen: *D. glomerata* Hemsl, *D. modesta* J.Linares y M. Sousa, *D. palo-escrito* Rzed. y Guridi Gómez, *D. rhachiflexa* J. Linares y M. Sousa y *D. tabascana* Pittier (Cervantes et al., 2019). Principalmente, estas especies se desarrollan en el bosque mesófilo de montaña, el bosque tropical caducifolio y subcaducifolio, el bosque pino-encino y el bosque tropical perennifolio (Cervantes, 2016). *Dalbergia palo-escrito* sp.n , es valorada por su preciosa madera debido a su hermoso color, longevidad, contraste veteado, madera fina con características de resonancia, de peso considerable y que posee propiedades alopáticas y antifúngicas. No obstante, la reproducción sexual de la *Dalbergia palo-escrito* sp. n se encuentra limitada por la presencia de un insecto posiblemente de la familia *Brentidae*, cuyas larvas obstaculizan el desarrollo de las semillas, lo que restringe la habilidad de regeneración

natural de la especie. Además, la propagación de sus semillas se ve limitada por la actividad ganadera en las zonas donde se desarrolla, más aparte que la mayoría de estas especies se encuentran en terrenos que son de propiedad privada a cuál su ingreso es desfavorable lo que obstaculiza que las plántulas generen una población sostenible y tengan algún cuidado específico. Por lo tanto, la implementación de métodos alternativos de propagación se vuelve crucial para garantizar la supervivencia de la especie en sus ecosistemas originales.

La propagación vegetativa, especialmente el acodo aéreo, ha probado ser un método eficaz para la multiplicación de especies de árboles. Esta metodología permite la generación de nuevas plantas a partir de ramas que, sin separarse del árbol madre, forman raíces adventicias y pueden ser trasplantadas más adelante para generar nuevas plantas. Para el árbol palo escrito, el acodo aéreo representa una opción factible para su reproducción, particularmente en un escenario donde la regeneración natural se encuentra en peligro.

El propósito de este estudio fue examinar dos métodos de propagación vegetativa mediante acodo aéreo en *Dalbergia palo-escrito* sp. n, bajo la técnica de anillado completo y anillado parcial, con el objetivo de establecer cuál es la más eficaz para provocar el enraizamiento y aumentar la tasa de supervivencia de las plántulas. Además, la investigación proporcionara una solución para la preservación de *Dalbergia palo-escrito* sp. n, lo que ayudara a la recuperación de los ecosistemas del BMM. Asimismo, aportara información valiosa acerca de la utilización de técnicas de propagación vegetal en especies forestales amenazadas, que podría ser aplicada a otras especies de relevancia ecológica y comercial.

### **1.1.Descripción taxonómica de *Dalbergia palo-escrito* sp. n**

**Reino:** Plantae

**Division:** Tracheophyta

**Clase:** Equisetopsida

**Orden:** Fabales

**Familia:** Fabaceae

**Nombre científico:** *Dalbergia palo-escrito* sp. n. Rzed. & Guridi-Gómez

Nombres comunes: *Palo escrito, escrito, tlajuilocuáhuatl (náhuatl), tzipil, tzipilín (huasteco), tlacuilo y Tlanchinol* (García, 2020).

## **1.2.Morfología general del *Dalbergia palo-escrito* sp. n**

### **1.2.1 Forma general**

*Dalbergia palo-escrito* sp. n es un árbol perennifolio, que puede llegar alcanzar los 35 m de altura con un diámetro de 80 cm. Presenta una estructura robusta en la cuales sus ramillas jóvenes son de color rojizo o blanquecino, y las más viejas se tornan de un color grisáceo es una señal particular de esta especie para su identificación (Rzedowski y Guridi-Gómez 1988).

### **1.2.2 Hojas**

Presenta hojas compuestas (Figura 1), con foliolos de 5,9 y 13. Tiene estipulas caedizas, peciolo y raquis son densamente puberulos en la juventud, volviéndose glabros o casi glabros con la edad, peciolulos cortos, con una longitud de 2 a 3 mm de largo, y densamente hispidulos en la juventud. El peciolo del foliolo terminal inserto sobre la prolongación terminal va de  $\pm 1$  cm de largo más delgada y de estructura diferente al peciolulo. Los foliolos son más angostos y anchamente ovados, de 3 - 5 cm de largo y 1 - 3.5 cm de ancho con ápice redondeado, levemente retuso, base redondeada a subtruncada y con frecuencia el foliolo terminal cuneada, tiene textura membranacea, nervadura central prominente en el envés, las nervaduras laterales principales van 10 a 12 pares se disponen en un ángulo de 50° a 60°, el haz es de color verde olivo oscuro, el envés es verde claro, algo grisáceo en ambas caras terminal y oblicuo (Rzedowski y Guridi-Gómez 1988).



**Figura 1.** Fisonomía de las hojas de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

### **1.2.3 Tronco y ramas**

El tronco alcanza los 80 cm de diámetro. Las ramillas más jóvenes son antrosas, con pelos rojizos o blanquecinos que van de 0.1 a 0.2 mm de largo.

### **1.2.4 Inflorescencia**

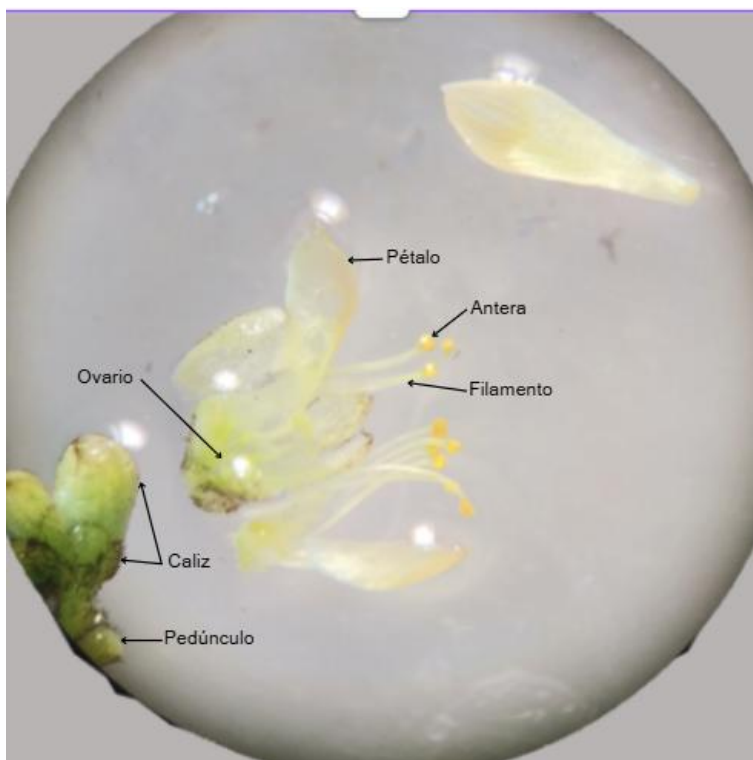
Se presenta en panículas axilares (Figura 2), miden hasta 5 cm de largo y de diámetro. Las brácteas y bractéolas son pequeñas, miden aproximadamente 1 mm o menos de largo, densamente puberulas con forma lanceolada a linear. Los pendicelos de las flores miden entre 1 a 2 mm de largo.



**Figura 2.** Inflorescencia de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

#### **1.2.5 Flores**

Estas son pequeñas (Figura 3) con una longitud que va de 3 a 5.5 mm de largo, su olor es poco agradable. El cáliz es campanulado, con forma zigomórfica. La corola es de color blanquecina a amarillenta y glabra. El estandarte es erecto, con una lámina obovada, subbiauriculada en la base de un solo lado o en ambos. Los pétalos de la quilla son similares, pero un poco más anchos y auriculados de un solo lado. El androceo está formado por 9 estambres monadelfos, con el tubo glabro. El ovario es estipitado, y densamente puberulo, el estilo es grueso de más de 1 mm de largo, con un estigma terminal y oblicuo (Rzedowski y Guridi-Gómez 1988).



**Figura 3.** Flores de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

### 1.2.6 Vaina

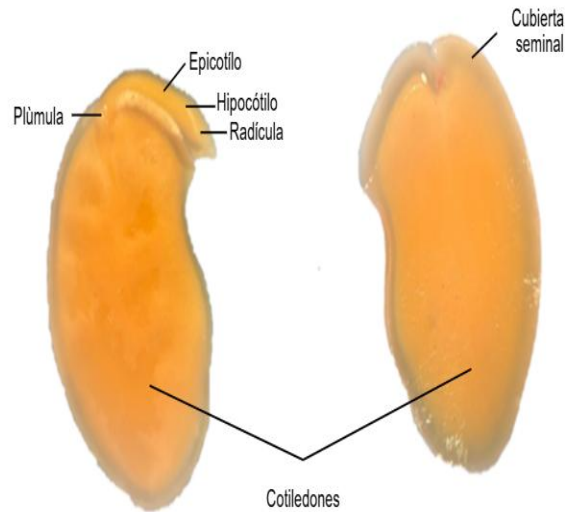
Sus vainas son oblongas de aproximadamente de 4 a 7.5 cm de largo y 1 a 1.5 cm de ancho (Figura 4), con un ápice redondeado u obtuso y una base cuneada. Es de color café con escasos pelos. La venación de este fruto es prominente reticulada en el área correspondiente a la semilla. Cabe resaltar que la maduración de la semilla no es uniforme, en el mismo ramillete puede haber vaina verde o madura terminal y oblicuo (Rzedowski y Guridi-Gómez, 1988).



**Figura 4.** Vaina de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

#### **1.2.7 Semillas**

Cada fruto contiene entre 1 a 4 semillas, tienen formas reniformes (parecidas a un riñón), de color café (Rzedowski y Guridi-Gómez, 1988). Según con los mismos autores, las vainas las clasifican como frutos que contienen de 1 a 4 semillas. Sin embargo, tras las observaciones en esta investigación solo se encontraba una semilla por vaina. En la Figura 5 se puede observar la morfología de la semilla de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.



**Figura 5.** Semilla de *Dalbergia palo-escrito* sp. n

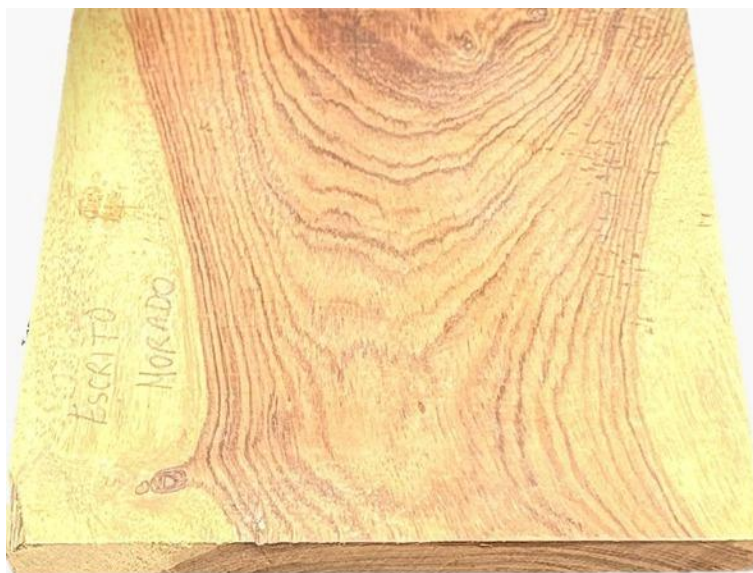
### **1.3. Características anatómicas y físicas de la madera de *Dalbergia palo-escrito* sp. n**

La madera de *Dalbergia palo escrito* sp. n es distinguida por su marcada diferencia entre la albura y duramen (Figura 6), las cuales se distinguen por su color y estructura (Rzedowski y Guridi-Gómez, 1988).

*Albura y duramen:* la albura es de color crema y el duramen castaño violáceo con vetas más oscuras, casi negras, las caras transversales semejan anillos de crecimiento de contorno muy irregular y son responsables de hermosa veteada, esta característica le da un valor agregado para la fabricación de muebles finos.

*Textura:* la madera presenta una estructura mediana, hilo recto y brillo media que lo hace tener un atractivo visual. Es dura y pesada que facilita trabajar con ella.

*Porosidad:* es difusa, con una ligera tendencia circular. Los poros son visibles a simple vista, tiene caras tangenciales, son de pequeños a grandes, regularmente solitarios, en grupos radiales de 2 o 3 y raramente en grupos irregulares. Su porosidad contribuye a sus propiedades de resonancia útiles en la fabricación de instrumentos musicales.



**Figura 6.** Madera de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

#### **1.4. Relaciones interespecíficas**

Asociado a menudo con *Liquidambar styraciflua*. Le favorecen ciertos tipos de disturbio. Establece relaciones simbióticas con rizobios para fijar nitrógeno, función muy importante ya que mejora la fertilidad de los suelos (Revivemx, 2024).

#### **1.5. Plagas**

Según estudios realizados por Hernández et al. (2020), cuantificaron el índice de severidad de daño de producción de semilla en el cual se utilizó la técnica de luz directa, radiografía y disección; donde la luz directa atravesó la vaina mostrando el embrión, y clasificando 8441 semillas en el cual el 53.14% fueron infectadas una plaga probablemente de la familia *Brentidae*, en su estado larval, este insecto perfora las vainas de la especie (Figura 7), esta acción interrumpe el proceso de maduración de las semillas y, posteriormente la caída prematura de las vainas antes de que las vainas alcancen su viabilidad. Este daño específico, afecta directamente la reproducción de la planta.



**Figura 7.** Daño causado a la semilla por insecto posiblemente de la familia *Brentidae*.

## **1.6. Reproducción**

### **1.6.1. Reproducción sexual**

A pesar de que *Dalbergia palo-escrito* sp. n produce semillas, la tasa de germinación y su propagación sexual es limitada, por el ataque de insectos larvales que perforan las vainas, y las dañan de forma irreparable. También se ve afectada por que algunos ejemplares se encuentran en terrenos o potreros que limitan su acceso.

### **1.6.2. Reproducción asexual o vegetativa**

La propagación vegetativa, se define como la multiplicación de una planta a partir de una célula, un tejido, un órgano (raíces, tallos, ramas y hojas) (Rojas et al., 2004). Cada célula de la planta contiene la información genética necesaria para generar un nuevo organismo clonal, genéticamente idéntico a progenitor, aunque a veces pueden presentarse mutaciones menores

(Hartmann, 1997). La capacidad para generar la estructura entera de la planta depende de dos características fundamentales de las células vegetales. Una es la totipotencia, característica de la célula para reproducir un organismo entero ya que posee toda la información genética necesaria para reconstruir todas las partes de la planta y sus funciones, a través de reproducción somática basada exclusivamente en mitosis (Hartmann et al., 1997). La segunda es diferenciación, es la capacidad de las células maduras de volver a una condición meristemática y desarrollar un punto de crecimiento nuevo (Hartmann y Kester, 1995; Rojas et al., 2004; Vieira de Souza, 2007). La presencia de tejido meristemático en las plantas adultas es indiferenciada con su alta capacidad de división celular (Bidwell, 1998). Este tejido es crucial para la regeneración de una nueva planta, ya que posee la capacidad de diferenciarse en distintos tipos celulares necesarios para el desarrollo de un organismo completo. Además, el crecimiento de las raíces está regulado por señales endógenas que mantienen la actividad del meristemo apical y contribuyen a la generación de nuevas raíces laterales. Este proceso aprovecha la capacidad natural de las plantas para reproducirse mediante la división de partes vegetales o gametos. Se considera que las plantas son seres modulares, cada módulo representa un brote con un crecimiento específico que incluye un entrenudo, un nudo, una hoja y una yema axilar. Esto generará ramas u hojas durante la fase vegetativa y flores y frutos durante la fase reproductiva. Cada módulo constituye un rameto que al volverse autónomos dan lugar a nuevos individuos que constituyen clones con identidad genética (Osuna et al., 2016). La propagación asexual reproduce clones. Esa propagación implica la división auténtica de las células, en la cual, hay una duplicación íntegra del sistema cromosómico y del citoplasma asociadas de la célula progenitora, para formar dos células hijas. En consecuencia, las plantas propagadas vegetativamente reproducen, por medio de la réplica del DNA, toda la información genética de la planta progenitora. Por esto, las características específicas de una planta dada son perpetuadas en la propagación de un clon (Huanca, s/f)

### **1.7. Importancia de la propagación vegetativa en especies forestales**

La propagación vegetativa (PV) es un método que permite la reproducción de especies forestales mediante el uso de sus partes vegetativas, esta constituye una herramienta importante de apoyo para el desarrollo de programas de mejoramiento genético forestal, con la finalidad

de reproducir individuos de alto valor genético para el establecimiento de huertos semilleros, conservar genotipos de alto valor económico o en peligro de extinción y multiplicar especies de importancia genética, económica o escénica (Prieto, 1992).

### 1.8. Ventajas y desventajas de la propagación vegetativa

En cuanto a las ventajas y desventajas, se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas de la propagación vegetativa.

| VENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | DESVENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acelerar la madurez de las plantas, al ahorrarse el periodo de crecimiento juvenil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Poca variabilidad genética, debido a que los descendientes son genéticamente idénticos, no hay variabilidad genética, lo que puede hacer que la población sea más susceptible a enfermedades o plagas que puedan afectar a todos los individuos de manera similar. |
| Reproducir especies sin semillas o que estas no sean viables.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Problemas de bajo o nulo enraizamiento.                                                                                                                                                                                                                            |
| Facilita la producción masiva de genotipos seleccionados, conserva la superioridad genética de clones preseleccionados. Esto debido a que la propagación vegetativa es asexual en cuanto a que involucran divisiones mitóticas de las células, que duplican el genotipo de la planta. Esta duplicación genética se designa clonación y a la población de plantas descendientes se les llama clones. | Es difícil realizar en todas las especies de interés ya que solo funciona en especies específicas, esto especialmente en árboles maduros.                                                                                                                          |

|                                                                                                                    |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Ofrece a las plantas un sistema radicular más desarrollado y mayor capacidad de adaptarse a nuevas condiciones.    |  |
| Las plantas crecen más rápido y son genéticamente idénticas a la planta madre.                                     |  |
| Es útil para plantas con tallos gruesos que no tienen la facilidad de desarrollar raíces a partir de esquejes.     |  |
| Reproducir especies que tienen problemas para propagarse por semilla.                                              |  |
| Permite obtener una gran cantidad de plantas de una fuente deseable, aunque existan cantidades reducidas.          |  |
| Máxima ganancia genética.                                                                                          |  |
| Ofrece la oportunidad de realizar mejoramiento genético para satisfacer la demanda de planta para reforestaciones. |  |
| Obtener plantaciones uniformes o la producción de un determinado número de individuos con identidad genética.      |  |

Fuentes: Zobel y Talbert, 1988; Rojas s/f; Carson, 1986.

### **1.9.Reproducción vegetativa por acodos**

Consiste en provocar la rizogénesis en una rama alta. Para favorecer la acumulación de auxinas y sustancias de reserva, se puede realizar un anillado o una doble incisión (Pina, 2008). El acodo aéreo es una técnica de propagación en la cual se descortezan un anillo debajo de un nudo de crecimiento en diferentes ramas, dejando expuesto el tejido de la xilema. Además, es conveniente raspar la superficie para eliminar el floema y el cambium para retardar la cicatrización. Se aplica un enraizador en polvo en la herida expuesta y se cubre con sustrato

húmedo, para proteger la zona tratada se envuelve con un trozo de polietileno y se amarra con rafia. Este debe regarse periódicamente o, alternativamente, realizarse en época de lluvia para mantener la humedad. Durante el acodado, la formación de la raíz es estimulada por la auxina y por la acumulación de fotosintatos en los meristemos cercanos al anillado, lo que favorece el desarrollo de raíces adventicias en esa zona cuando la rama está todavía unida a la planta madre (Hartmann, 1997). Cuando el acodo haya formado raíces este se separa de la planta madre y así reducir su actividad metabólica; es recomendable sumergir las raíces en agua por lo menos dos horas antes de sembrarlo en su contenedor con tierra. Para mejorar el enraizamiento de los acodos, existen diversos tratamientos aplicados al tallo, como la realización de heridas, el estrangulamiento o el anillado de la corteza (Hartmann, 1997)

El acodado es un método de multiplicación vegetativa que consiste en provocar la formación de raíces adventicias en ramas aun unidas a la planta madre y, a continuación, separarlas para obtener uno o varios nuevos individuos. La diferencia con las estacas y esquejes es que en este el enraizamiento tiene lugar después de la separación de la estaquilla/rama de la planta madre y, en el acodado, el enraizamiento ocurre antes de la separación de la estaquilla de la planta madre (Pina, 2008)

#### **1.10. Bases fisiológicas para formación de acodos aéreos.**

Generan una limitación en flujo de fotoasimilados, fitorreguladores, metabolitos, interrumpiendo la traslocación acrópeta y basípeta de compuestos orgánicos, carbohidratos, auxinas y otros factores de crecimiento a través del floema. Esta interrupción en los tejidos conductivos favorece la aparición de raíces adventicias en la zona donde se realizó la alteración. (Ramírez-Villalobos y Urdaneta-Fernández, 2004).

#### **1.11. Factores que favorecen la propagación por acodos**

La propagación asexual mediante acodo aéreo depende de tres factores, mismos que a continuación se mencionan:

### **1.11.1. Nutrición de la planta madre**

El tallo acodado se abastece de agua y sales minerales provenientes de la planta madre, ello a través del flujo por los haces vasculares del xilema (Siura, 2016).

### **1.11.2. Tratamientos al tallo o bloqueo del floema**

Interrumpir la translocación de nutrientes y por el floema se puede lograr mediante técnicas como el descortezado, estrangulamiento, raspado de la corteza, doblado del tallo, entre otras. Esto provoca la acumulación de carbohidratos, auxinas, cofactores, etc., en la zona del corte provocando la formación de raíces (Siura, 2016).

### **1.11.3. Etiolación**

La ausencia de luz en el tallo acodado reduce actividad fotosintética y estimula la formación de raíces. Cuando los cortes a enraizar son brotes, adquiere gran importancia su etiolamiento. Los tejidos etiolados son aquellos que se desarrollan a la oscuridad y se caracterizan por no poseer clorofilas, acumular sustancias hormonales de efecto rizogénico y adquirir una estructura más adecuada para la formación de raíces. Para lograr la etiolación, este se debe ocultar de la luz, se le aplica una envoltura opaca conteniendo un sustrato húmedo que propicie su enraizamiento (Agustí, 2010).

## **1.12. Formación de raíces adventicias**

Las raíces adventicias son de dos tipos: raíces preformadas y raíces de lesiones. Las primeras se desarrollan naturalmente en los tallos o ramas cuando todavía están adheridas a la planta madre pero que no emergen si no hasta después que se corta la porción de tallo. Las raíces de lesiones se desarrollan solo después que se ha hecho una lesión mecánica, una respuesta al efecto de lesión al preparar la misma. Cuando se hace el corte, las células vivientes que están en las superficies cortadas son lesionadas, quedando expuestas las células muertas y conductoras de la xilema. El proceso subsecuente de cicatrización y regeneración ocurre en tres pasos: primero, al morir las células externas lesionadas, se forma una placa necrótica que sella

la herida con un material suberoso (suberina) y tapa el xilema con goma. Esta placa protege las superficies cortadas de la desecación. Segundo, después de unos cuantos días, las células que están detrás de esa placa empiezan a dividirse y se pueden formar una capa de parénquima (callo). Tercero, en ciertas células próximas al cambium vascular y al floema se empieza a iniciar raíces adventicias (Hartmann y Kester, 1997).

Los cambios anatómicos que pueden observarse en el tallo durante la iniciación de las raíces pueden dividirse en cuatro etapas:

1. Desdiferenciación de células maduras específicas.
2. Formación de células iniciales de raíz en ciertas células cercanas a los haces vasculares, las cuales se han vuelto meristemáticas por desdiferenciación.
3. Desarrollo subsecuente de estas iniciales de raíces en primordios de raíces organizados.
4. Desarrollo y emergencia de estos primordios radicales hacia afuera a través del tejido de tallo, más la formación de conexiones vasculares entre los primordios radicales y los tejidos conductores de la propia estaca.

Según (Hartmann y Kester, 1997) en plantas leñosas perennes, en las cuales hay una o más capas del xilema y floema secundarios, en las estacas del tallo, usualmente se originan de células de parénquima vivientes, primordialmente en el xilema secundario joven, pero a veces lo hacen de otros tejidos como los radios vasculares, el cambium, el floema, las lenticelas o la medula. Por lo general, el origen y desarrollo de las raíces adventicias se efectúa cerca de y justamente fuera del núcleo central de tejido vascular. Al salir del tallo, las raíces adventicias han formado una cofia y los tejidos usuales de la raíz, así como las conexiones vasculares completas con el tallo de que se originan. Las raíces y las ramas adventicias usualmente se originan dentro del tallo endógenamente cerca del cilindro vascular, justo fuera del cambium (Hartmann y Kester, 1997).

### **1.13. Callo**

Cuando una estaca se coloca en condiciones ambientales favorables para el enraizamiento ordinario se desarrolla cierta cantidad de callo en su externo basal. El callo es una masa irregular de células de parénquima en varios estados de lignificación. El callo prolifera de células jóvenes que se encuentran en la base de la estaca en la región del cambium vascular, aunque también

pueden contribuir células de la corteza y de la medula. Con frecuencia las primeras raíces aparecen a través del callo, conduciendo a la creencia de que la formación de callo es esencial para el enraizamiento. En la mayoría de las plantas, la formación de callo y de raíces son independientes entre sí y cuando ocurren simultáneamente es debido a su dependencia de condiciones internas y ambientales similares (Hartmann y Kester, 1997). Sin embargo, en algunas especies, aparentemente la formación de callo es precursora de la formación de raíces adventicias (Hartmann y Kester, 1997). Por ejemplo, en *Pinus radiata*, *Sedum* y *Hedera hélix* (fase adulta) las raíces adventicias se originan en el tejido de callo que se formó en la base de la estaca. Hay pruebas de que el pH del medio de enraizamiento puede influir en el tipo de callo producido, lo cual a su vez afecta la emergencia de raíces adventicias de nueva formación (Hartmann y Kester, 1997). En estudios en los que se usaron estacas de álamo de bálsamo, con pH 6.0 las células de callo fueron grandes, algo suaves y las estacas enraizaron con facilidad. Al aumentar la alcalinidad, las masas de callo se hicieron menores, hasta con el pH 11.0 que se volvieron pequeñas y compactas, dispuestas en una estructura calcárea maciza. Estas estacas no enraizaron, aunque al hacer cortes de ellas debajo del callo se encontraron primordios de raíces bien formados.

#### **1.14. Estructura del tallo y enraizamiento**

El desarrollo de un anillo de esclerénquima continuo entre el floema y la corteza, al exterior del punto de origen de las raíces adventicias y el cual a menudo está asociada con la maduración, posiblemente constituye una barrera anatómica para el enraizamiento. En un estudio de estacas de olivos, este anillo estaba asociado con tipos de estacas difíciles de enraizar, mientras que aquellos de enraizamiento fácil se caracterizaban por la discontinuidad de anillo de esclerénquima. Las estacas con hojas de tipo de enraizamiento difícil que tienen un anillo de esclerénquima, al ser colocadas a enraizar bajo niebla, mostraron una proliferación activa de las células de radio del parénquima, resultante en la ruptura de la continuidad del anillo de esclerénquima, con lo cual se hizo posible el enraizamiento de tallo anatómicamente inadecuados para ello. También en estacas de otras especies se han observado casos de la asociación de cultivares difíciles de enraizar en presencia de un anillo de esclerénquima altamente lignificado (Hartmann y Kester, 1998).

En algunos casos una envoltura de tejido lignificado en los tallos puede actuar como una barrera mecánica para la emergencia de las raíces. Aunque es más probable que el enraizamiento esté relacionado con la formación de las células iniciales de raíces que con la restricción mecánica de un anillo de esclerénquima que impida la emergencia de las mismas (Hartmann y Kester, 1998).

### 1.15. Época

Como lo mencionan Pardo et al. (2002), el comportamiento de las especies como *Conocarpus erectus* y *Laguncularia racemosa* es diferente en las distintas épocas de año. En el otoño (septiembre-noviembre) se obtuvieron entre el 30 y 40% de acodos enraizados para *L. racemosa*. Mientras que para *C. erectus* no hubo prendimiento alguno, sólo se presentó callosidad en los acodos. En invierno (diciembre-febrero), no prosperaron los acodos en ninguna de las especies en cuestión. A pesar de que la primavera (marzo-mayo) es una de las estaciones del año en que las plantas presentan mayor actividad metabólica, en esta ocasión los resultados demostraron que el enraizado de acodos de *L. racemosa* y *C. erectus* no fue apropiado, ya que al momento de la cosecha (62 días) sólo se obtuvo entre el 10% y 30% de acodos. Mientras que para *C. erectus* el éxito de enraizado fue nulo y solamente se presentaron callosidades, un tipo de verrugas que se consideran pre-formaciones de raíces. El verano fue la mejor época del año para la reproducción vegetativa, pues tanto para *L. racemosa* como para *C. erectus*; se logró el 90% de acodos enraizados. Benítez et al. (2002) encontraron que el verano (junio) es la época adecuada para propagar vegetativamente a *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*. Se observó que en otoño y primavera hubo un decremento en la producción de raíces, mientras que en el invierno la producción fue totalmente nula. Al respecto, refieren que el éxito obtenido en verano está influenciado por las altas temperaturas y la presencia de lluvias, las cuales mantienen húmedo el sustrato, además de que contribuyen a la disminución de la salinidad y con ello hay mayor disponibilidad de nutrimentos que favorece la nutrición y capacidad metabólica de la planta. En resumen, los estudios de Pardo et al. (2002) y Benítez et al. (2002) coinciden que la mejor época para realizar los acodos es el verano ya que este es beneficiado por las lluvias y las altas temperaturas.

### **1.16. Sustancias promotoras del enraizamiento**

Una característica clave para la reproducción vegetativa es la formación de callo, proceso que puede ser beneficiado con la aplicación de sustancias promotoras de enraizamiento como las auxinas sintéticas, especialmente por el ácido indol butírico (AIB) tanto en gimnospermas como en angiospermas (Hartmann, 1997). El ácido indol butírico (AIB), es una auxina que tiene el propósito de aumentar el porcentaje de raíces, acelerar la iniciación de ellas, aumentar el número y calidad de las raíces y mejorar la uniformidad del enraizamiento (Hartmann y Kester, 1995). Las sustancias promotoras del enraizamiento son importantes para promover la formación de raíces adventicias e incrementar su cantidad y calidad (Wright, 1986). De las sustancias reguladoras del crecimiento que existe en las plantas, las auxinas son las más efectivas y por lo tanto las más utilizadas en la propagación vegetativa (Hartmann y Kester, 1990). Las auxinas juegan un papel importante en este proceso, aunque otras hormonas también contribuyen a la arquitectura total de la raíz (Jung y McCouch, 2013). El objetivo de utilizar reguladores de crecimiento tipo auxinas es ayudar a especies difíciles de enraizar a acelerar la iniciación del enraizamiento, aumentar el número y calidad de las raíces y proporciona una mayor uniformidad en el crecimiento y desarrollo de las raíces (Hartmann y Kester 1983). Las auxinas, un grupo de fitohormonas, actúan como reguladores del crecimiento, promoviendo la división o elongación celular. Además, participan activamente en el desarrollo de la raíz embrionaria y post embrionaria, y en procesos como el gravitropismo. Las auxinas pueden ser sintetizadas en las partes aéreas de la planta o en los ápices de las raíces primarias y secundarias (Ljung et al., 2005). La inhibición del transporte de auxinas ha demostrado reducir significativamente el crecimiento de la raíz primaria en todas las especies estudiadas hasta la fecha (Blilou et al., 2005). Esteban-Soto (2006) mencionó que el AIB promueve el desarrollo radicular en plantas de propagación asexual, debido a que esta hormona de crecimiento estimula la formación de largas estructuras celulares que le permiten absorber agua y nutrientes. Entre ellas el ácido indol butírico (AIB) es uno de los más destacados, debido a que carece de toxicidad en un amplio rango de concentraciones, tiene poco desplazamiento y es eficaz en una gran variedad de especies (Hartmann y Kester, 1990). La concentración de AIB dependerá de la facilidad de enraizamiento de la especie. En especies de madera blanda y fáciles de enraizar, se recomienda el uso de concentraciones de 500-1000 ppm; para especies de madera semidura

y dura, de moderada facilidad 2000-2500 ppm; en especies difíciles de enraizar, se recomienda aplicar 5000-7000 ppm (Rimarachin, 2024); y para especies leñosas difíciles de enraizar, se deben tratar con 10000 ppm de (AIB) (Fernández et al., 2016). En el mercado existen enraizadores comerciales en polvo, compuestos por una mezcla de auxinas y fungicidas, como Radix, Rootone y Raizone plus. Para su aplicación, es importante que la zona a tratar este húmeda, para facilitar la adherencia del enraizador.

#### **1.17. Sustrato**

Este debe proporcionar humedad constante, buena aireación, poseer partículas de tamaño uniforme, carecer de impurezas y que su pH fluctué entre 5.5 y 6.5 (Macdonald, 1986). Entre los sustratos más utilizados se encuentra la vermiculita, arena, musgo turboso, tezontle, perlita y agrolita.

#### **1.18. Condiciones ambientales**

La temperatura y humedad relativa desempeñan un papel fundamental. La humedad relativa debe mantenerse por encima del 60% para evitar el estrés por transpiración. La temperatura debe oscilar entre los 18 y 28 °C temperaturas más bajas debilitan el movimiento de las auxinas, limitando el enraizamiento. En cambio, si es demasiado alta, la tasa de transpiración y respiración es excesiva. Según Rauter, (1982), indico que la temperatura idónea debe mantenerse entre los 20 y 22°C.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Importancia económica de la especie

La madera de *Dalbergia palo-escrito* sp. n es de gran importancia económica para México debido a sus diversos usos en la industria de la madera y la artesanía. Algunos ejemplos de esto son:

- *Ebanistería*: Esta especie se emplea en México para la fabricación de muebles finos, estos se fabrican principalmente en zonas como San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo y su demanda supera a la de la madera de cedro rojo (*Cedrela Odorata*).
- *Instrumentos musicales*: es muy apreciado por los artesanos de Michoacán (Paracho), se emplea en la fabricación de guitarras y otros instrumentos de cuerdas, empleándola el fondo y en las costillas de guitarra tipo clásica. Las cuales se cotizan a un alto precio tanto en mercados nacionales e internacionales debido a su hermoso color, contraste veteado y propiedades de resonancia.
- *Otros usos*: fabricación de artesanías, accesorios para maquinaria y objetos diversos. La madera también se emplea en decoraciones y paneles de lujo.

Esta especie juega un papel importante en la economía tanto en mercados nacionales como internacionales.

### 2.2 Factores de riesgo para la especie

El 4% del comercio mundial de productos maderables provienen de la región de América Latina y el Caribe. Las presiones ambientales en el mercado están aumentando y han influido en las importaciones de madera acerrada y terciada, pulpa, papel y muebles. Las reducciones de las barreras arancelarias y no arancelarias en el mercado a nivel mundial, la apertura del mercado y la realización de ajustes estructurales en los países de América Latina y el Caribe han contribuido a una expansión del comercio en la región con efectos negativos en el bosque. Estos efectos podrían ser mitigados si se tomaran medidas o políticas adecuadas. Muchas veces se han otorgado subsidios a la producción justificándolos con objetivos ambientales, pero al mismo tiempo en el uso de tales subsidios arriesgan disputas en el comercio internacional, las

prohibiciones en la exportación de madera en rollo, las restricciones cuantitativas y los impuestos de exportación tienden a fomentar la ineficiencia económica y tampoco pueden ser justificados con base a criterios ambientales. La certificación del manejo forestal y la comercialización de los productos forestales de sello verde están recibiendo mucha atención a nivel internacional y se los consideran como posibles instrumentos para mejorar el manejo y promover exportaciones. En esta área se han llevado a cabo varias iniciativas a nivel nacional y empresarial en América Latina y el Caribe. Un mayor reconocimiento y mejor armonización de sistemas de certificación son temas importantes para desarrollar en el futuro. El potencial del cobro de precios adicionales a los productos certificados es un asunto fundamental que afecta la viabilidad del uso del sello verde. La certificación tiene el potencial de complementar y economizar el marco regulador del sector público. Sin embargo, existe el desafío de diseñarla de una manera que conlleve una implementación eficiente sin efectos adversos especialmente para los pequeños productores, para los cuales los costos de certificación pueden ser elevados. (Manuales para educación agropecuarias, 2008). En la actualidad, las poblaciones de *Dalbergia* se encuentran afectadas debido a la sobreexplotación, el tráfico ilegal, la deforestación y la fragmentación de sus hábitats. Las especies de este género, debido a que su madera es altamente valorada, enfrentan un riesgo particular debido a la escasez de ejemplares y su lento crecimiento, por lo que presentan una vulnerabilidad biológica alta. Además, *Dalbergia palo-escrito* sp. n se enfrenta a diversos problemas a su propagación debido a la depredación masiva de sus semillas por insectos, lo que dificulta el reclutamiento de nuevas poblaciones.

A partir del año 2010, la demanda global de *Dalbergia* aumento de forma considerable, principalmente en el mercado chino (Basik, 2015). Esta creciente demanda ha generado un aumento en el tráfico ilegal que está afectando gravemente a las poblaciones del género en toda su área de distribución. Desde que comenzaron las importaciones masivas de maderas rojas por parte de china, las exportaciones de maderas rojas en México se han disparado. Según datos de la PROFEPA, en 2013 se exportaron de forma legal 35,6 metros cúbicos de madera aserrada y en rollo de *Dalbergia retusa*. El destino de las exportaciones fue a Estados Unidos, Camboya y China. Sin embargo, de acuerdo con los datos de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres CITES (2013), entre 2007 y 2012 China importó madera de *Dalbergia* palo rosa proveniente de México por un volumen

total de 10.662 m<sup>3</sup>. Desde entonces, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) ha detectado varios envíos ilegales de madera de *Dalbergia* a terceros países. Adicionalmente, se estima que grandes volúmenes de madera están saliendo de forma ilegal de México por la frontera sur y parte de esa madera “se limpia” en Centroamérica antes de ingresar al comercio internacional.

En México, varias especies de *Dalbergia* se han utilizado tradicionalmente para elaborar muebles, instrumentos musicales, mangos de cuchillos y artesanías, entre otros objetos (Díaz-Gómez y Huerta-Crespo, 1986; Guridi y García-López, 1996). Sin embargo, a partir de 2010, la demanda de *Dalbergia* como fuente de madera aumentó a nivel mundial impulsada principalmente por la expansión del mercado chino (Basik, 2015). Como consecuencia, enormes cantidades de madera han sido extraídas ilegalmente de la naturaleza, lo que ha afectado gravemente a las poblaciones naturales. De acuerdo con la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), entre 2007 y 2012, China importó un total de 10,662 m<sup>3</sup> de palo de rosa de México (CITES, 2013). Desde entonces, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) ha detectado varios embarques ilegales de madera de *Dalbergia* a terceros países.

Además, de la sobreexplotación y comercio ilegal, las especies de *Dalbergia* en México se distribuyen en ecosistemas altamente amenazados, como los bosques tropicales caducifolios (BTC) que entre el periodo comprendido entre 1973 y 1989 se calculó una pérdida anual de 1.4% anual (Trejo y Dirzo, 2000) y para 1992 el área deforestada anualmente se estimaba en 163,000 hectáreas (Rincón y Huante, 1993), los bosques tropicales subdeciduos (BTSC), los bosques tropicales de hoja perenne, durante el periodo comprendido entre 1990 y 2000, en México presentaron una pérdida de 5,5 millones de hectáreas (1.1% anual) por año (FAO, 2006), los bosques del mesófilo de montaña (BMM), originalmente en (décadas 40-60), cubrían el 1.55% del área del país (31 037.13 km<sup>2</sup>). Sin embargo, para el año 2007, su cobertura se redujo al 0.84% (16 976.80 km<sup>2</sup>) la cobertura actual de este ecosistema representa apenas el 54.7% de su potencial original (Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014) y los bosques nubosos. Estos 4 tipos de vegetación han sido afectados por la deforestación, principalmente para establecer campos agrícolas y ganaderos (Dirzo y García, 1992; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014; Hughes et al., 2000; Miles et al., 2006), y en menor medida, por el crecimiento urbano y el aprovechamiento de productos maderables y no maderables.

## 2.3 Conservación de la especie

La información disponible sobre la propagación de esta especie es limitada, lo que hace más importante implementar medidas para su conservación. Entre las acciones principales a considerar es frenar el comercio ilegal y proteger su hábitat. Estas especies se distribuyen en ecosistemas altamente amenazados que han sido afectados por la deforestación, principalmente para establecer campos agrícolas y ganaderos. Es importante fomentar la preservación de estos ecosistemas, incentivando plantaciones de esta especie en sistemas agroforestales, como se ha hecho en varios países de Centroamérica. En estos sistemas se han cultivado con manejo sostenible de bosque natural en combinación con cultivos como plátano, cacao o café, lo que permite generar ingresos durante los primeros años de plantación dado que las *Dalbergias* tienen un lento crecimiento lo que puede desalentar a los productores a cultivarlos, pero la recompensa viene cuando estas especies se ingresan al mercado con un alto valor monetario (Blanco, 2020). Además, sería importante fomentar plantaciones de estas especies con la ayuda de programas públicos de gobierno como “sembrando vida”.

## 2.4 Conservación de la especie por medio de acodos aéreos

No hay estudios previos con acodo aéreo en *Dalbergia palo-escrito* sp. n, pero con *Cedrela odorata* que comparten algunas características, como su crecimiento lento y de alta demanda de condiciones específicas para la germinación y propagación. Se observó en estudios de (Sampayo, 2015), que utilizando la técnica de anillado completo con 10,000 y 1,000 mg L<sup>-1</sup> de AIB promovieron el mayor porcentaje (90 %) de acodos enraizados.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La conservación de especie forestales con alto valor económico y ecológico como *Dalbergia palo escrito* sp. n., impulsa diseñar estrategias que hagan contrapeso a la deforestación influenciada por el comercio ilegal de su madera y pérdida de su hábitat natural por el cambio de uso de suelo. La propagación de la especie presenta retos importantes debido a su crecimiento lento y a la complejidad de su reproducción sexual a causa de insectos que se alimentan de la semilla en estadios larvales y a la escasa información por medio de propagación vegetativa. Por lo tanto, es importante desarrollar técnicas eficientes que permitan preservar la genética de la especie e integrarlos en sistemas agroforestales sostenibles.

Ante el escenario de limitada información de propagación vegetativa de *Dalbergia palo-escrito* sp. n., el uso del acodo aéreo surge como una alternativa con gran potencial para su propagación. Investigaciones previas en especies arbóreas como *C. obtusifolia* responden positivamente a la reproducción por el método de acodos aéreos sobreviviendo al azar el 93% en comparación con el método por estacas que solo respondieron el 58.3 % de los cortes, el uso de acodos aéreos muestra resultados mayores siendo esto de gran importancia dado las dificultades inherentes a la reproducción sexual de dicha especie.

El propósito de esta tesis es ofrecer instrumentos necesarios para la preservación y gestión sostenible del árbol palo escrito mediante el desarrollo de técnicas de propagación vegetativa con el objetivo de fortalecer los esfuerzos de preservación de especies endémicas en México y en otras naciones con ecosistemas parecidos, con ello, promover la recuperación de sus hábitats naturales y garantizar la persistencia de la especie en el futuro.

## 4. OBJETIVOS

### Objetivo general

Comparar la efectividad del acodo aéreo utilizando dos técnicas (anillado completo y anillado parcial) en la propagación vegetativa de *Dalbergia palo-escrito* sp. n, evaluando la calidad, cantidad y porcentaje de raíces adventicias.

### Objetivos específicos

- a) Identificar cuál de las dos técnicas de acodo aéreo (anillado completo y anillado parcial) ofrece mayor éxito en el enraizamiento de ramas en *Dalbergia palo-escrito* sp. n.
- b) Comparar el peso de la biomasa de raíces adventicias de dos tipos de acodos aéreos con anillado completo y anillado parcial.
- c) Demostrar que el acodo aéreo reduce la fase vegetativa y favorece la fase reproductiva.

## **5. HIPÒTESIS**

La técnica de anillado completo tendrá mayor éxito en la formación de raíces adventicias comparado con el anillado parcial, debido a la mayor exposición de la corteza y la interrupción de los tejidos conductivos, lo que favorece mayor estimulación para la formación y desarrollo de raíces.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Descripción del área de estudio

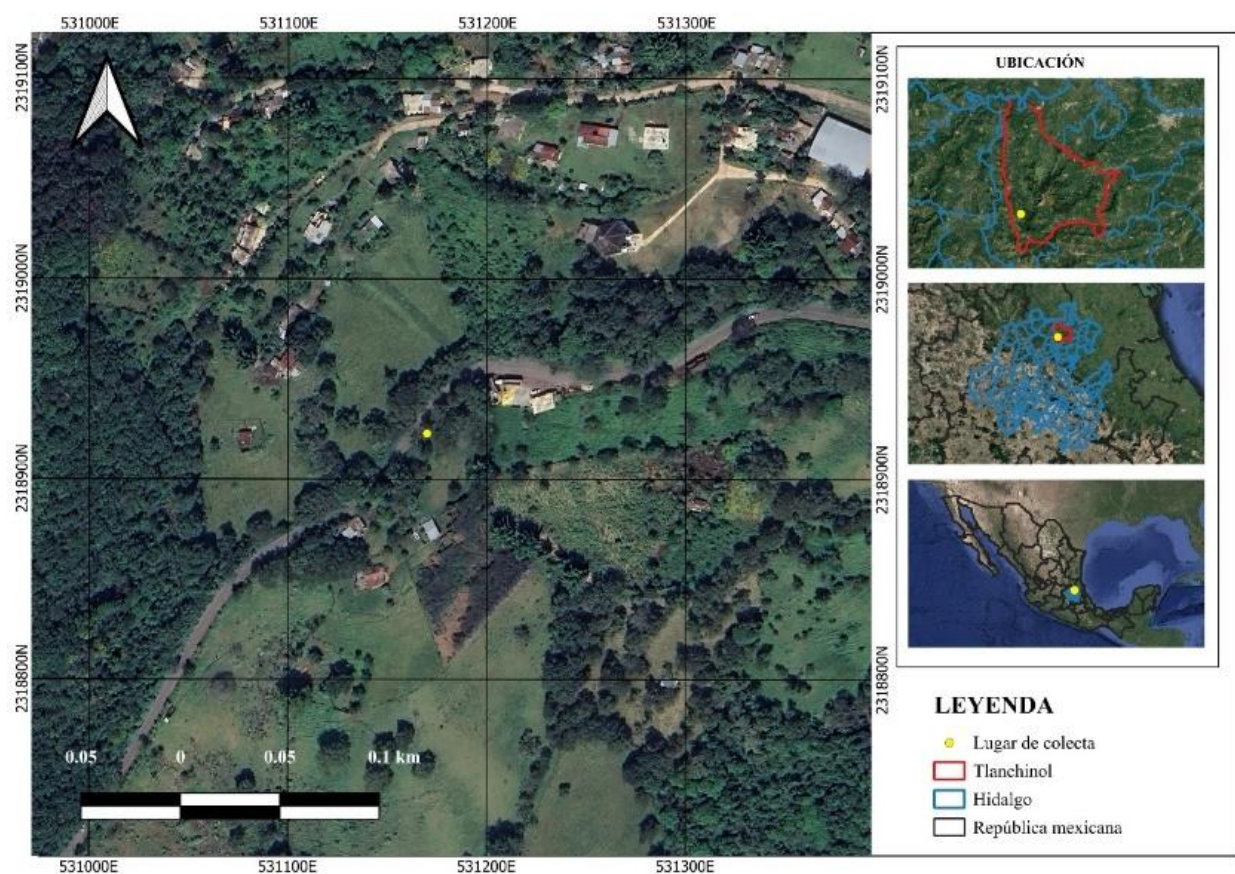
El sitio experimental (Figura 8) de este estudio se localizó en el vivero del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en el municipio de Santiago Tulantepec, Hidalgo, México. El clima de la región es templado-frío, con una temperatura promedio anual de 14 °C anual. La precipitación pluvial anual varía entre 500 y 553 mm, mientras que los vientos predominantes son moderados, con un promedio anual de 4 km/s, destacándose los vientos del noreste, con una velocidad media de 29 km/h. La lluvia en la zona es moderada, con precipitaciones que oscilan entre 500 y 700 mm anuales (Ayala et al., 2013).



**Figura 8.** Sitio experimental.

## 6.2. Ubicación y croquis del lugar de recolección de semilla de *Dalbergia palo-escrito* sp. n

Las muestras de semilla de *Dalbergia palo. escrito* sp. n se recolectaron en el año 2006 de árboles adultos localizados en la comunidad de Chachala, Tlanchinol, Hidalgo (Figura 9), bajo las siguientes coordenadas: Latitud 20°58'14.15" N y Longitud 98°42'00.52" O a 1379 msnm.



**Figura 9.** Coordenadas geográficas del sitio de recolección de semillas de *Dalbergia palo. escrito* sp.n.

## 6.3. Proceso de propagación y trasplante de la semilla.

Vainas de *Dalbergia palo. escrito* sp.n. fueron recolectadas en su hábitat natural y posteriormente fueron seleccionadas mediante apariencia visual y que no presentaran daños ocasionado por insectos. Una vez separada la semilla de la vaina, estas se plantaron en charolas forestales de 49 tubetes con capacidad de 135 ml de volumen y empleando como sustrato una mezcla de turba: perlita: vermiculita a razón de 50:25:25, respectivamente. Todas las semillas

fueron sembradas al año 2007 ocupándose un total de 5 charolas y el porcentaje de germinación fue del 88% (216 plántulas totales). Posteriormente solo se utilizó un total de 110 plántulas trasplantadas primeramente en bolsas de 30x30 cm, para el año de 2011 se trasplantan en bolsa de 40x40 cm para que finalmente en el 2015 se utilizó bolsa de 60x60 cm. La tierra utilizada en todos los tiempos de trasplante fue tierra agrícola y en la tabla 1 se presenta el análisis físico – químico del suelo.

El experimento se estableció en el interior de un vivero con cubierta plástica color blanco, con 30% de sombreo, calibre 720 y protección UV. El experimento se realizó en un arreglo espacial de 70 árboles distribuidos en 5 columnas con una distancia equidistante de 1 m entre cada árbol.

#### **6.4 Tratamientos de técnicas de acodo aéreo en la formación de tejido regenerativo en *Dalbergia palo-escrito* sp. n**

Los tratamientos fueron: anillado completo (100% de retiro de la corteza + Radix 10000<sup>®</sup>), anillado parcial (50% de retiro de la corteza + Radix 10000<sup>®</sup>) y testigo (100% retiro de la corteza sin Radix 10000<sup>®</sup>) para evaluar la formación de raíces adventicias en los acodos de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

Se evaluaron 120 acodos bajo condiciones de agricultura protegida durante 175 días.

#### **6.5. Análisis estadístico**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y una prueba de medias de diferencias mínimas significativas de Fisher, con un nivel de confianza del 95%.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$j = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

- $Y_{ij}$ = Variable de respuesta de la  $ij$ -ésima unidad experimental
- $\mu$ = Efecto de la media general
- $\tau_i$ =Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento
- $\varepsilon_{ij}$ = Efecto del error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental

## 6.6. Manejo del Riego

Riegos de auxilio a capacidad de campo fueron realizados durante el transcurso de crecimiento vegetativo del árbol y según lo requerido por el cultivo. El agua provenía del pozo del Rancho Universitario.

## 6.7. Procedimientos para la realización de acodos en *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

Para iniciar el proceso del acodamiento se utilizó una báscula digital TRUPER® de 5 kg, modelo BASE-5EC para uniformizar la cantidad de turba en cada acodo aéreo, se aplicó 1g de Radix 10000® por medio de un pincel en cada acodo aéreo realizado. Plástico doble cara gris-negro, rafia y cúter también son utilizados. En la (Figura 10) se pueden observar los materiales empleados para el acodamiento.



**Figura 10.** Materiales para la realización de acodos aéreos.

Se seleccionaron ramas de árboles adultos con porte vigoroso, la rama debía de estar sana, libre de enfermedades o plagas, cuya medida aproximada debe ser de 0.5 cm de diámetro, se utilizó un vernier marca Mitutoyo® (Figura 11) para garantizar que la mayoría d las ramas fuera uniforme.



**Figura 11.** Medición de ramas utilizando un vernier marca Mitutoyo.

Una vez seleccionada la rama, se procede a cortar con el cúter esterilizado en cloro al 5% para evitar la propagación de enfermedades. Se realiza un corte limpio y en diagonal, cerca del punto de un nudo, que es donde crecen nuevas raíces. En la Figura 12 se puede observar el proceso de corte.



**Figura 12.** Realización de corte en ramas para acodo.

Se realizo el acodo completo (Figura 13), retirando el 100% de corteza a una longitud de 5.0 cm.



**Figura 13.** Retiro total de la corteza en el proceso de acodo.

Se realizo el acodo parcial (Figura 14), retirando solo el 50% de la corteza con una longitud de 5.0 cm.



**Figura 14.** Retiro parcial de corteza en el proceso de acodo.

La Figura 15 muestra la aplicación de Radix 10000® en la zona acodada. Con la ayuda de un pincel, se aplicó una capa de aproximadamente 1 gramo de enraizador sobre la zona expuesta, así asegurar el contacto directo con el tejido vegetal.



**Figura 15.** Aplicación de enraizador Radix 10000® en la rama acodada.

La Figura 16 muestra el proceso de cobertura del acodo con 20 gramos de turba y acolchado doble cara negro-gris. Para así protegerlo de la luz, además de proporcionar las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para favorecer el desarrollo de raíces.



**Figura 16.** Cobertura del acodo con turba y acolchado.

En la Figura 17 se observa el proceso de atado del acodo con rafia. Después de haber cubierto la base con turba y acolchado, se utiliza la rafia para asegurar la envoltura y mantenerlo en su lugar.



**Figura 17.** Amarre del acodo utilizando rafia.

En la Figura 18 se demuestra cómo se mantenía la humedad constante en el sustrato con la ayuda de una jeringa en la cual se aplicaban 20 ml de agua de pozo cada 10 días.



**Figura 18.** Aplicación controlada de agua para mantener la humedad en el acodo utilizando jeringa.

## 6.8. Evaluación de los Acodos

A los 175 días, los acodos fueron retirados y se evaluaron los siguientes aspectos:

- **Peso fresco y peso seco de las raíces:** con el fin de determinar su desarrollo y salud. El peso fresco refleja la cantidad total de agua contenida en las raíces, mientras que el peso seco la biomasa desarrollada.
- **Análisis de los resultados:** Se compararon los resultados de ambos tratamientos de anillado (completo y parcial) en términos de la formación de raíces y su calidad. Se emplearon métodos estadísticos adecuados para examinar las diferencias relevantes entre los tratamientos.

Para el peso de las muestras, se utilizó una balanza analítica AEADAM PW124 (Figura 19) que permite obtener datos más precisos sin la interferencia de otros factores.



**Figura 19.** Evaluación del peso fresco y seco de las raíces obtenidas del acodo.

## 7. RESULTADOS

El análisis fisicoquímico de suelo fue realizado por fertilab y los resultados que se arrojaron son representados en la Tabla 2.

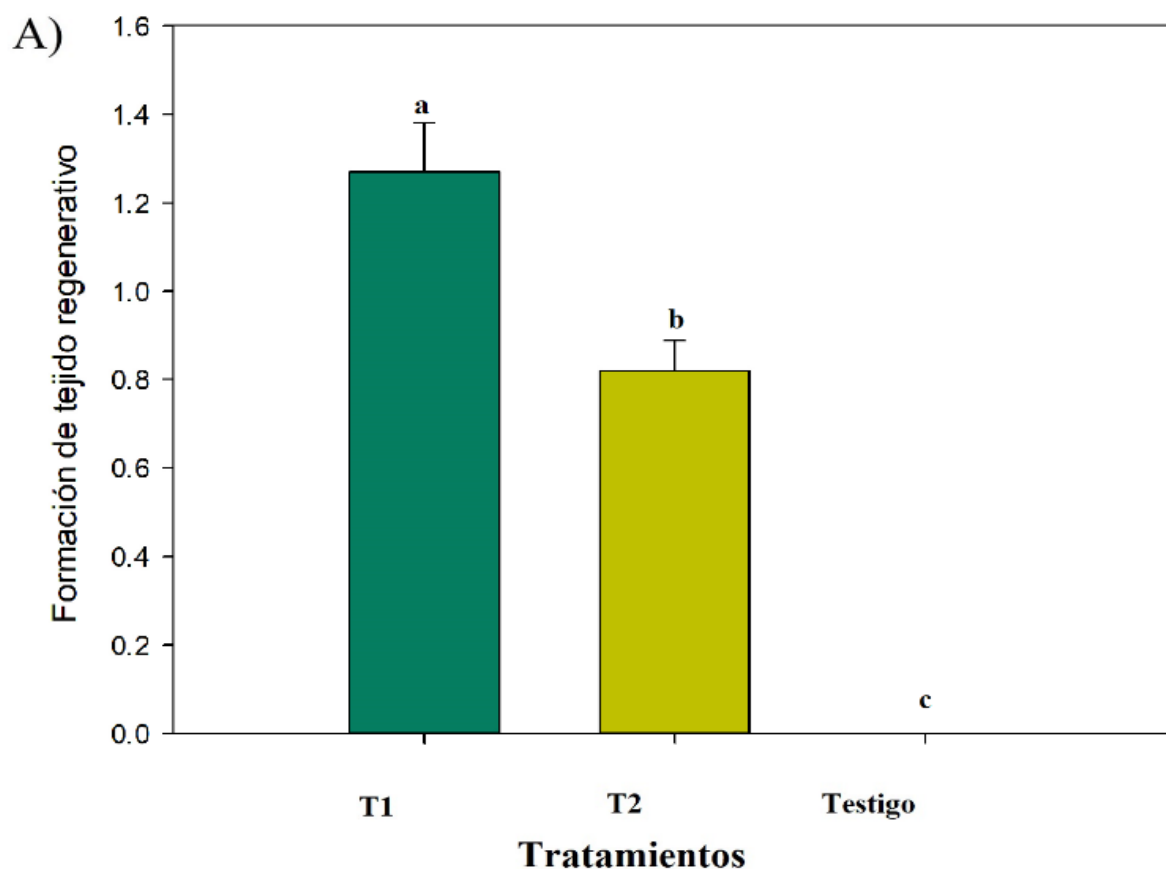
**Tabla 2.** Análisis fisicoquímico del suelo en el sitio experimental.

| <b>Propiedad</b>                     | <b>Valor obtenido</b>  |
|--------------------------------------|------------------------|
| <b>pH</b>                            | 8.07                   |
| <b>Salinidad (CE Extracto)</b>       | 0.78 dS/m              |
| <b>Clase textura</b>                 | Franco arcilloso       |
| <b>Punto de saturación</b>           | 47.0%                  |
| <b>Capacidad de campo</b>            | 25.1%                  |
| <b>Punto de marchitez permanente</b> | 14.9%                  |
| <b>Conductividad hidráulica</b>      | 4.10 cm/h              |
| <b>Densidad aparente</b>             | 1.14 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>Propiedad</b>                     | Valor obtenido         |
| <b>MO</b>                            | 1.67%                  |
| <b>K</b>                             | 397ppm                 |
| <b>Ca</b>                            | 1911ppm                |
| <b>Mg</b>                            | 747 ppm                |
| <b>Na</b>                            | 181 ppm                |
| <b>Fe</b>                            | 12.1 ppm               |
| <b>Zn</b>                            | 1.31 ppm               |
| <b>Mn</b>                            | 8.84 ppm               |
| <b>Cu</b>                            | 0.83 ppm               |
| <b>B</b>                             | 0.77 ppm               |
| <b>S</b>                             | 52.9 ppm               |
| <b>N-NO<sub>3</sub></b>              | 33.5 ppm               |

Fuente: (Fertilab, 2019)

### **7.1 Evaluación de técnicas de acodo aéreo en la formación de tejido regenerativo en *Dalbergia palo-escrito* sp. n.**

De acuerdo con los resultados obtenidos en (Figura 20), se observó que la formación de tejido regenerativo fue mayor en el T1 acodo completo + Radix 10000<sup>®</sup>, lo que muestra que este tratamiento da mejores resultados a la formación de raíces adventicias, con un valor cercano a 2. En comparación con el T2 acodo parcial + Radix 10000<sup>®</sup> que sus valores son cercanos a 1 lo que sugiere que este tratamiento solo se obtuvo callo y T3 Testigo que sus valores estuvieron más cercanos a 0 indicando que este tratamiento no obtuvo raíces adventicias ni callo, lo que da a entender que sin el uso de un enraizador a 10000ppm los acodos aéreos para esta especie son poco o nulamente eficientes. A los 175 días de acodamiento, se evaluó la cantidad de biomasa de raíces adventicias que generaron los diferentes tipos de acodo. Estas fueron pesadas en una balanza analítica AEADAM PW124 para cuantificar la biomasa obtenida.



**Figura 20.** Efecto de diferentes técnicas de acodo y aplicación de Radix 10000® sobre el aumento de biomasa de la raíz de *Dalbergia palo-escrito* sp. n.

Acodos en palo escrito (*Dalbergia palo-escrito* sp. n). A). Formación de tejido regenerativo. T1: Acodo con retiro del 100% de corteza + Radix 10000®; T2=Acodo con retiro del 50% de corteza + Radix 10000®; T3=Acodo sin corteza y sin Radix 10000®. El valor más cercano a 2 indica la formación de raíces adventicias; El valor más cercano a 1 indica la formación de callo y el valor de 0 indica que no hubo formación de tejido regenerativo. Las barras representan el error estándar de la media de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ( $\alpha = 0,05$ );  $n = 40$  error estándar.

Los resultados obtenidos para la variable formación de tejido regenerativo (Figura 20) indica que el tratamiento T1 presento un mayor porcentaje 127% de tejido regenerativo en comparación con el testigo, mientras que el tratamiento T2 redujo la formación de tejidos regenerativos un 36% comparado con el tratamiento T1. La propagación asexual por acodos

aéreos ha sido poco o nulamente documentada en especies de *Dalbergia palo escrito* sp. n para identificar su capacidad de regeneración.

Para verificar el desarrollo de las raíces adventicias a los 175 días de haber realizado el acodo total el resultado se puede observar en la Figura 21.



**Figura 21.** Raíces adventicias obtenidas a los 175 días bajo la técnica de acodo total.

La Figura 22 muestra el resultado de la técnica de acodo parcial, 175 días de haber sido acodado. En este caso, solo se obtuvo callo, sin la formación de raíces adventicias.



**Figura 22.** Resultado de la técnica de acodo parcial.

## 7.2 Trasplante y floración de las varetas acodadas.

Tras realizar el acodo aéreo, las varetas fueron cortadas de la planta madre y trasplantadas en bolsas negras de vivero de 20 x 30 cm con fuste con una combinación de tierra agrícola con polvo de tezontle y lombricomposta 60:30:10, respectivamente. Posteriormente las varetas comenzaron a florear a los 180 días, aproximadamente (Figura 23), lo que muestra que esta técnica resulta ser eficaz para esta especie, lo cual esta técnica puede ser una opción de acortar el tiempo y obtener semilla.



**Figura 23.** Floración de vareta a 180 días aproximadamente.

## **Tiempo de acodamiento**

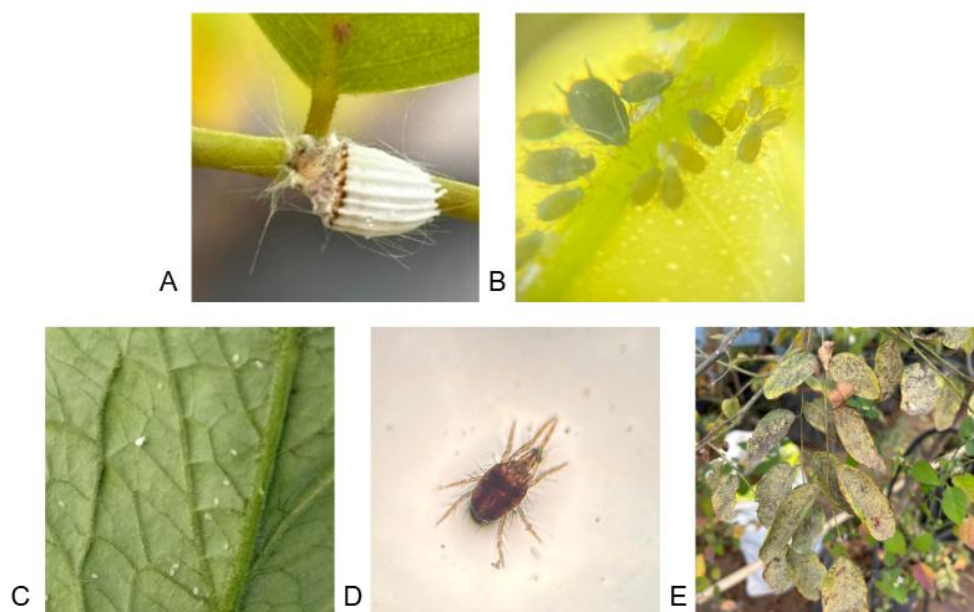
Durante el tiempo del experimento, se observaron primordios radiculares en diferentes acodos sin embargo estos no alcanzaron a desarrollarse completamente. Estos resultados sugieren que el tratamiento puede extenderse a más de 175 días para así asegurar el crecimiento completo de raíces adventicias. A través de esta modificación se podrían obtener mejores resultados.

## **Varetas**

La técnica del acodo aéreo permitió que las varetas que fueron posteriormente trasplantadas a bolsa acortaran su fase vegetativa y adelantaran la fase reproductiva, obtenidos la floración a los 180 posteriores al transplante.

### **7.3 Plagas y enfermedades encontradas a lo largo del estudio experimental.**

Se detecto la presencia de insectos en *Dalbergia palo escrito* sp. n, es importante mencionar que estas plagas no se han encontrado cuando la especie se encuentra en su hábitat natural pero en el vivero del Instituto de Ciencias Agropecuarias se dieron las condiciones apropiadas para que estas pudieran proliferar en la especie por ejemplo la cercanía a cultivos como jitomate, chile e higo, además se creó un ambiente propicio para la aparición de estas, afectando al cultivo de manera indirecta, a continuación se observan (Figura 24).



**Figura 24.** Plagas y enfermedades. **A**, Cochinilla acanalada. **B**, Pulgón. **C**, Mosquita blanca. **D**, Tetranychus. **E**, Fumagina.

## 8. DISCUSION DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos con la biomasa, algunos autores señalan que especies leñosas como: *Ficus carica*, *Avicennia*, *Rhizophora*, *Laguncularia*, *Conocarpus*, *Sonneretia*, *Xylocarpus* (Kathiresan y Ravikumar, 1995; Elster y Perdomo, 1999; Benítez *et al.*, 2002), *Excoecaria*, *Intsia* y *Heritiera* (Eganathan *et al.*, 2000), responden adecuadamente a esta técnica de propagación vegetativa (Urrieta *et al.*, 2023). Esto puede explicarse por qué esta técnica es exitosa en la propagación de muchas plantas debido a que la rama al no ser separada de la planta madre sigue recibiendo agua y nutrimentos. Sin embargo, al combinar esta técnica con aplicaciones de AIB se observa una mayor cantidad de raíces (Hartmann *et al.*, 2002), lo cual coincide con lo reportado en esta investigación.

Hernández-Carmona *et al.*, (2012), propagaron *Laguncularia raremosa*, *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* mediante acodos aéreos, reportando que el uso de acodos combinados con AIB incrementa un 80 % la formación de raíces adventicias en *L. racemosa*, un 30 %, para *R. mangle* y 26 % para *A. germinans*, lo que es inferior a lo reportado en esta investigación. En general, los acodos tratados con AIB tienen un mayor porcentaje de enraizamiento y mejor calidad del sistema radicular que los no tratados (Hagen y Palzkill, 1989).

## 9. CONCLUSIONES

La propagación asexual mediante acodo aéreo ha demostrado ser una técnica efectiva para la reproducción de *Dalbergia palo. escrito* sp. n, especie de alto valor ecológico y económico que se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2019), por su explotación ilegal y problemas de reproducción natural, por esta razón se buscan alternativas para su propagación vegetativa.

Los resultados obtenidos durante esta investigación demostró que el anillado completo (100 % retiro de corteza + Radix 10000<sup>®</sup>) fue el más efectivo en la formación de tejido regenerativo, sobrepasando al anillado parcial (50% retiro de la corteza + Radix 10000<sup>®</sup>) que la mayoría solo genero callo e intentó cerrar la herida y el testigo (retiro 100% de corteza sin Radix 10000<sup>®</sup>) en cual no se obtuvo tejido regenerativo ni callo. Este resultado resalta la importancia de utilizar auxinas como el ácido indol butírico (Radix 10000<sup>®</sup>) que ayuda a la generación de raíces adventicias.

Aunque la propagación vegetativa por acodo aéreo ha sido poco o nulamente documentada en *Dalbergia palo. escrito* sp. n, este estudio concluyó que es una buena técnica para su conservación y reforestación, especialmente porque esta especie se encuentra en peligro de extinción, y es endémica de México. Se sugiere alargar el periodo del acodo a más de 175 días y así poder obtener mejores resultados de obtención de tejido regenerativo radicular. Esta investigación contribuyó con información relevante para la conservación de especies difíciles de propagación sexual especialmente en el género de *Dalbergia*.

Finalmente, se demostró que el acodo aéreo permitió obtener floración de las varetas desde su anillado hasta el trasplante a bolsa en un total de 355 días estos días corresponden a la suma de los 175 días del proceso de acodamiento más 180 días posteriores al trasplante de las varetas acodadas, en comparación de la reproducción sexual en este experimento, que implico del año 2007 (siembra de semilla) hasta el año 2023, cuando se presentó la floración y obtención de semilla, acortándose 16 años entre la fase vegetativa y la fase reproductiva del proceso biológico de la especie.

## 10. REFERENCIAS

- Agustí, M. (2010). Fruticultura. In M. Agustí, *Fruticultura* (p. 186). Madrid; Barcelona; Mexico: Mundi-Prensa.
- Azcón-Bieto J, M Talón. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Barcelona, España. Ediciones McGraw-Hill Interamericana. 520 p.
- Basik, N. (2015). Chinas's Hongmu Consumption Boom. Analysis of the Chinese Rosewood Trade and links to illegal Activity in Tropical Forested Countries. *Forest Trends*
- Benítez-Pardo, D.; F. Verdugo y J. Hernández, 2002. "Reproducción vegetativa de dos especies arbóreas en un manglar de la costa norte del Pacífico mexicano". *Mad. y Bosq.*, **8**(2): 57-71.
- Bidwell, R., 1998, Fisiología vegetal, AGT Editor, México. Bradbeer, J., 1988, Seed dormancy and germination, Chapman and Hall, Nueva York.
- Blanco Romero, I. (2020). El género *Dalbergia* en México: Evaluación poblacional y estudio de campo en la región costa de Oaxaca.
- Blilou, I., Xu, J., Wildwater, M., Willem sen, V., Paponov, I., Friml, J., et al. (2005). The PIN auxin efflux facilitator network controls growth and patterning in Arabidopsis roots. *Nature* 433, 39–44.
- Carson, M. J. 1986. Advantages of clonal forestry for pinus radiata, real or imagine. *16*(3):403-415.
- Cervantes Maldonado, A. 2016. La conservación del granadillo en México: una carrera contra el tiempo. CONABIO. Biodiversitas, 128: 6 -11p.
- Cervantes, A; Linares, J. y Quintero, E. 2019. An updated checklist of the Mexican species of *Dalbergia* (Leguminosae) to aid its conservation efforts. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90: e902528.
- CITES (Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora). (2013). CoP 16 Prop. 62. *Dalbergia stevensonii*, inclusion in Appendix II. Belize.
- CONABIO. 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 197 pp. México D.F., México.

- Díaz-Gómez, V., y Huerta-Crespo, J. (1986). Utilización de las maderas tropicales en México. *Revista de Ciencia Forestal*, 11, 127-145.
- Dirzo, R., y García, M. C. (1992). Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in southeast Mexico. *Conservation Biology*, 6, 84-90.
- Eganathan, P.; C. Srinivasa Rao y Ajith Anand., 2000. "Vegetative propagation of three mangrove tree species by cuttings and air layering". *Wet. Ecol. and Man.*, 8: 281-286.
- Elster C. y L. Perdomo, 1999. "Rooting and vegetative propagation in *Laguncularia racemosa*". *Aquat. Bot.*, 63: 83-93
- Esteban-Soto, L. (2006). Efecto de diferentes dosis de AIB sobre el enraizamiento de *Benjamina ficus* L. en diferentes épocas del año. *Revista Ra Ximhai. Universidad Autónoma Indígena de México (UAIM)*, 2, 795-814.
- Fernández, H. R. O., Fernández, A. M. O., y Álvarez, A. F. (2016). Manual de propagación de plantas superiores.
- Fertilab. (2019). Análisis físicoquímico de suelos. Fertilab.
- García Valencia, S. (2020). Evaluación de la actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos de *Dalbergia palo-escrito* y su efecto sobre la calidad de la canal, la carne y un producto cárnico de conejo.
- Gual-Díaz, M., y Rendón-Correa, A. (2014). *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Guridi, G. L. I., y García-López, Y. A. (1996). *Las maderas en los instrumentos musicales de cuerda de Paracho, Michoacán, México*. México D.F.: Editorial Universitaria, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Hagen RH, Palzkill DA. 1989. Air-layering as a Method of Asexual Propagation of Mesquite. *Turfgrass and Ornamentals Research Summary*, 83-84.
- Hartmann, H. T. y D. E. Kester. 1990. Propagación de plantas; principios y prácticas. Trad. Al español por Antonio marino. CECSA. 4a. ed. México.
- Hartmann, H., D. Kester, F. Davies y R. Geneve. 2002. Plant propagation. Principles and Practices. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey
- Hartmann, H., et al., 1997, Plant propagation: principles and practices, 6th ed., Prentice Hall, EUA.

- Hartmann, H., y Kester, D. (1997). Propagacion de plantas. C.V Mexico: Compañia editorial continental, S.A.
- Hartmann, H., y Kester, D. (1998). Propagación de Plantas: Principios y prácticas (p. 757). *México. Continental.*
- Hartmann, H., y Kester, D. 1995. Propagación de plantas. Principios y prácticas. 4ª ed. Continental. México. 760p.
- Hartmann, T. H. y V. Kester. 1995. Propagación de plantas. CECSA. México.
- Hernández Carmona, s., Carmona Díaz, g., Ávila bello, c. h., y Mendoza Martínez, g. d. (2012). propagación vegetativa de tres especies de mangle por acodos aéreos en el manglar de sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México. polibotánica, (33),193-205. [fecha de consulta 24 de octubre de 2024]. issn: 1405-2768. recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62124396012>
- Hernandez Uribe, D., Guevara Herrera, R., Velasco Castillo, C., Hernandez Montaña, V., y Flores Hernandez, F. (2020). Cuantificacion de produccion de semilla de la especie *Dalbergia palo-escrito* en las comunidades de Chalma, Acatepec y Coatitlamixtla en el Estado de Hidalgo. In F
- Huanca Wildor, "Métodos de reproducción asexual y su aplicación", Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Hughes, R. F., Kauffman, J. B., y Jaramillo, V. J. (2000). Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Applications*, 10, 515-527.
- Jung, J. K., y McCouch, S. (2013). Getting to the roots of it: genetic and hormonal control of root architecture. *Frontiers in plant science*, 4, 186.
- Kathiresan K. y S. Ravikumar, 1995. "Vegetative propagation through air layering in two species of mangroves". *Aquat. Bot.*, 50: 107-110.
- Leakey R.R.B., Mesén F., Tchoundjeu Z., Longman A., Dick J., Newton A., Martin A., Grace J., Munro C., Muthoka N. 1990. Low technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* 69(3):247-257.
- Ljung, K., Hull, A. K., Celenza, J., Yamada, M., Estelle, M., Nor manly, J., etal. (2005). Sites and regulation of auxin biosynthesis in Arabidopsis roots. *Plant Cell* 17, 1090–1104.

- Loach K. 1988. Controlling environmental conditions to improve adventitious rooting, pp. 248-273. In: T.D. Davis, B.E. Haissig and N. Sankhla (eds). Adventitious Root Formation in Cuttings. BE Dioscorides Press, EE. UU.
- Luna-Vega I, Alcántara-Ayala O. 2004. Florística del bosque mesófilo de montaña de Hidalgo. En: Luna-Vega I, Morrone JJ, Espinoza D.(Eds.) Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México DF. pp169-192
- Macdonald, B. 1986. Practical woody plant propagation for nursery growers. Vol 1. Timber press. USA
- Manuales para educacion agropecuarias. (2008). Producción forestal. In *Producción forestal* (pp. 127-128). Mexico: Sep trillas.
- Massoumi, M., F.A. Krens, R.G.F. Visser y G. De Klerk. 2017. Etiolation and flooding of donor plants enhance the capability of Arabidopsis explants to root. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 130: 531-541.
- Mesen F. 1993. Vegetative propagation of Central American hardwoods. Thesis Ph.D. University of Edinburgh, Scotland. 231 p.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S. et al. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33, 491-505.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 - hacia la ordenación forestal sostenible. Roma: Estudio FAO, Montes N° 47, 2006
- Osuna Helia, O. A. y F. A. (2016). Manual de propagación de plantas superiores. [http://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/manual\\_plantas.pdf](http://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/manual_plantas.pdf)
- Pardo, D. B., Verdugo, F. F., y Hernández, J. I. V. (2002). Reproducción vegetativa de dos especies arbóreas en un manglar de la costa norte del Pacífico mexicano. *Madera y Bosques*, 8(2), 57-71.
- Phillips, I.D.J. 1975. Apical dominance. *Annual Review of Plant Physiology* (EE.UU.) 26:341-367.
- Pina 2008, Propagación de plantas, 1era Edición, Editorial de la UPV.

- Prieto R., A. 1992. Estudio de algunos factores que influyen en la propagación por estaquillas de *Cupressus guadalupensis* S. Wats.
- Ramírez-Villalobos, M., Urdaneta-Fernández, A., y Vargas-Simón, G. (2004). Tratamientos con ácido indolbutírico y lesionado sobre el enraizamiento de estacas de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.). *Agronomía Tropical*, 54(2), 203-218.
- Rauter, R. M. 1982. Recent advances in vegetative propagation including biological and economic considerations and future potential. Joing meeting of working parties on genetics about breeding strategies including multiclonal varieties. Ministry of Natural Resources. Ontario, Canada. 26 p.
- Rimarachin Cueva, L. E. (2024). Efecto de promotores del enraizamiento y sustratos en la propagación vegetativa por estacas de la especie *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson, Jaén 2021.
- Rincón, E. y Huante, P. Growth responses of tropical deciduous tree seedlings to contrasting light conditions. *Trees*, 1993, N° 7, p. 202-207.
- Rojas, S; Garcia, J; Alarcon M. 2004. Propagación asexual de plantas. Conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas. Ed. Produmedios. Colombia. 56 p.
- Rojas, Salvador, y otros, Op, Cit, p. 8
- Rzedowski, J., y Guridi-Gomez, L. I. (1988). El palo escrito, árbol de madera preciosa-una nueva especie mexicana de *Dalbergia* (Leguminosae, Papilionoideae). *Acta Botanica Mexicana*, (4), 1-8.
- Sampayo Maldonado, S. (2015). Propagación asexual de clones seleccionados de *Cedrela odorata* L.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2019. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación (DOF), jueves 14 de noviembre de 2019.
- Siura, S. (2016). Acodos y propagación vegetativa natural. *Principios de Propagación de Plantas*, 43.
- Trejo, I. y Dirzo, R. Deforestation of seasonally dry tropical forests: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, 2000, Vol. 94, N° 2 p. 133-142.

- Urrieta et al. 2023. Propagación vegetativa de higueras locales acodo aéreo y miniestacas. Agrofaz: publicación semestral de investigación científica, ISSN 1665-8892, Vol. 5, Nº. 1, 2023, págs. 72-77
- Vatanparast, M., Klitgard, B. B., Adema, F. A. C. B., Pennington, R., Yahara, T., y Kajita T. (2013). First molecular phylogeny of the pantropical genus *Dalbergia*: implications
- Vieira de Souza, J.C. 2007. Propagacao vegetativa de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) por miniestaquia. Tesis Magister en Producción Vegetal. Universidad del estado del Norte de Fluminense. 54 p. En: <http://www.rapve.org>
- Villaseñor JL. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. Interciencia 28:160-167
- Wright, J. W. 1986. Mejoramiento genético de los arboles forestales. Roma, FAO.
- Zobel, B., y Talbert, J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales.