



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA

PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE *Porlieria chilensis* Johnst
(GUAYACÁN) CON DIFERENTES ENRAIZANTES Y CONTROL DE
LA TEMPERATURA MÍNIMA

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

ANA BELEN CONTRERAS MARCHANT

Profesor Guía: Sr. Eduardo Martínez Herrera. Ingeniero Forestal,
Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias

Santiago, Chile

2018

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA

PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE *Porlieria chilensis* Johnst
(GUAYACÁN) CON DIFERENTES ENRAIZANTES Y CONTROL DE
LA TEMPERATURA MÍNIMA

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

ANA BELEN CONTRERAS MARCHANT

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Eduardo Martínez Herrera
Prof. Consejero Sr. Carlos Magni Díaz
Prof. Consejero Sra. Karen Peña Rojas

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Propagación vegetativa.....	3
1.2	Propagación en guayacán	4
2	MATERIALES Y MÉTODOS	6
2.1	Materiales	6
2.1.1	Área de estudio.....	6
2.1.2	Material vegetativo y enraizantes.....	6
2.1.3	Contenedores.....	6
2.1.4	Temperatura	6
2.2	Métodos	6
2.2.1	Elección época de cosecha	7
2.2.2	Cosecha del material vegetativo y transporte.....	7
2.2.3	Conservación y corte de las estacas	7
2.2.4	Instalación de las estacas.....	8
2.2.5	Diseño experimental.....	9
2.2.6	Mantenimiento de las estacas	10
2.2.7	Levantamiento de las estacas	11
2.2.8	Evaluaciones	11
2.2.9	Análisis de datos	12
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
3.1	Sobrevivencia	14
3.1.1	Efecto de la temperatura.....	15
3.1.2	Efecto de los enraizantes.....	16
3.1.3	Interacción temperatura y enraizante	17
3.2	Presencia de hojas.....	18
3.2.1	Efecto de los enraizantes.....	18
3.2.2	Efecto de los enraizantes.....	19
3.2.3	Interacción temperatura y enraizante	20
3.3	Abundancia de hojas.....	20
3.4	Estado sanitario	21
3.4.1	Efecto de la temperatura.....	22
3.4.2	Efecto de los enraizantes.....	23

3.4.3	Interacción temperatura y enraizante	24
3.5	Número de hojas de guayacán	24
4	CONCLUSIONES	26
5	BIBLIOGRAFÍA	27
6	ANEXOS	31
	Anexo I. Tablas de contingencia.....	31
	Anexo II. Tabla Chi-cuadrado con nivel de significación de 0,05	32
7	APÉNDICE.....	33
	Apéndice I. Tablas de contingencia.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de la propagación vegetativa.	3
Cuadro 2. Total de tratamientos con la combinaciones de T° y enraizante especificados.	10
Cuadro 3. Criterios para el estado sanitario.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución potencial de Guayacán según pisos vegetacionales. Modificado a partir de Luebert y Pliscoff, (2006).....	2
Figura 2: Esquema metodológico	7
Figura 3: Diseño experimental del ensayo, repeticiones en las camas calientes	10
Figura 4: Temperatura mínima diaria según datos tomados con data logger	11
Figura 5: Raíces estaca 1.....	14
Figura 6: Raíces estaca 2.....	14
Figura 7: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia de sobrevivencia de guayacán por temperatura	15
Figura 8: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia sobrevivencia de guayacán por enraizante.....	16
Figura 9: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia sobrevivencia de guayacán por tratamiento	17
Figura 10: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Presencia de hojas de guayacán por temperatura	18
Figura 11: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Presencia de hojas de guayacán por enraizante.....	19
Figura 12: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Presencia de hojas de guayacán por tratamiento	20
Figura 13: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Estado sanitario de guayacán por temperatura.....	22
Figura 14: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Estado sanitario de guayacán por enraizante	23
Figura 15: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Estado sanitario de guayacán por tratamiento.....	24
Figura 16: Distribución del número de hojas por tratamiento, abajo se presentan las interacciones entre enraizante y temperatura (que corresponde a los 12 tratamientos), la sigla representa al tratamiento como lo indica el cuadro 2. La barra corresponde al error estándar de la media.....	25

RESUMEN

Porlieria chilensis, es una especie endémica de la zona central de Chile, en categoría de conservación vulnerable, amenazada por numerosos proyectos industriales y agrícolas. *P. chilensis* tiene buenos resultados en propagación por semillas, sin embargo, es difícil disponer de estas en cantidad y calidad debido a factores como su añerismo y su alta palatabilidad. Debido a estos y otros problemas, resulta importante conocer el método de propagación vegetativa por estacas especialmente debido a la poca información disponible y al bajo nivel de éxito de este para *P. chilensis*. Esta información permitirá aumentar el conocimiento de la especie y su aplicación en planes y programas de conservación.

El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes temperaturas mínimas de sustrato y tres reguladores de crecimiento sobre la capacidad de enraizamiento en las estacas de *P. chilensis*. Además, se analizó la existencia de interacción entre los diferentes niveles de temperatura y los enraizantes aplicadas sobre el desarrollo de raíces adventicias y otros órganos.

El material vegetativo se colectó en mayo de 2017, se trató con tres enraizantes (ANA a 4000 ppm, IBA a 2000 ppm y extracto de lentejas) y se sometió a tres temperaturas mínimas de sustrato (15°C, 25°C y ambiente). Se utilizó un diseño de parcelas divididas, donde la parcela principal corresponde a la temperatura y la subparcela a los enraizantes. Las estacas se instalaron en bandejas de poliestireno expandido, con fibra de coco como sustrato. El ensayo tuvo una duración de 24 semanas, luego se extrajeron las estacas y se evaluó la sobrevivencia; número, presencia y abundancia de hojas, estado sanitario; presencia, número y longitud de raíz o callo.

Se observó la presencia de raíces solo en dos estacas, ambas tratadas con T25-ANA, con un número de 9 y 14 raíces de longitud promedio 2,4 y 1 cm respectivamente. Solo una estaca presento 4 callos tratada con T15-IBA. La sobrevivencia fue de 35,3% del total de las estacas, asociada principalmente al enraizante. Los valores de mortalidad más altos los obtuvieron las estacas con extracto de lentejas. La abundancia de hojas fue mayor en el tratamiento T25-IBA. Mientras que, para el estado sanitario, abundancia y número de hojas, los resultados más bajos los obtuvieron las estacas con extracto de lentejas.

Bajo las condiciones planteadas no se obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto al número de estacas enraizadas, confirmando las dificultades de propagación vegetativa de *P. chilensis*. Sin embargo, las sustancias enraizantes probadas afectaron la sobrevivencia, presencia de hojas, abundancia de hojas y estado sanitario. No se observó un efecto aislado de la temperatura mínima del sustrato, sin embargo, se observó la interacción de esta con las sustancias enraizantes, haciendo variar las respuestas sobre los caracteres evaluados.

Palabras clave: Conservación de especies, cama de enraizamiento, enraizantes naturales, ácido indolbutírico, ácido naftalenacético

ABSTRACT

Porlieria chilensis, is an endemic species of the Central Zone of Chile, classified in a vulnerable category of conservation, threatened by numerous industrial and agricultural projects. *P. chilensis* has good results in propagation by seeds, however, it's difficult to obtain these in quantity and quality due to factors such as its high palatability and variable seed production among different years. Due to these and other problems, it's important to know the method of vegetative propagation by cuttings especially due to the limited information available and the scarce success when it's applied for *P. chilensis*. The information provide in this research will increase knowledge of the species and its application in conservation plans and programs.

The aim was to evaluate the effect of different minimum substrate temperatures and three growth regulators on the rooting capacity of *P. chilensis* cuttings. It was also analyzed, the existence of interaction between the different temperature levels and the doses of rooting applied on the development of adventitious roots or other organs.

The vegetative material was collected in May 2017 and treated with three rooting agents (ANA at 4000 ppm, IBA at 2000 ppm and lentil extract) and subjected to three minimum substrate temperatures (15 ° C, 25 ° C and ambient). A design of split plots was used, where the main plot corresponds to the temperature and the subplot to the rooting agent. The cuttings were installed in expanded polystyrene trays, with coconut fiber as the substrate. The trial lasted 24 weeks, then the cuttings were removed and survival was evaluated; number, presence and abundance of leaves, health status; presence, number and length of root or callous.

The presence of roots was observed only in two cuttings, both treated with T25-ANA, with a number of 9 and 14 roots and an average length of 2.4 cm and 1 cm respectively. Only one cutting reach 4 callous when was treated under T15-IBA. The mean of cuttings survival was 35.3%, mainly associated with rooting agent. Cuttings treated with lentil extract obtain the highest mortality values. The abundance of leaves was high under the T25-IBA treatment. While, for the health status, abundance and number of leaves, the lowest results were obtained by the cuttings treated with lentil extract.

Under the proposed conditions, satisfactory results were not obtained regarding the number of rooted cuttings, which confirms the difficulties to propagate *P. chilensis* by vegetative way. The rooting substances tested affected the survival, presence of leaves, abundance of leaves and sanitary status. An isolated effect of the minimum temperature of the substrate was not observed, however, the interaction of this with the rooting substances was observed, varying the responses on the evaluated characters.

Keywords: Species conservation, rooting bed, natural rootings, indolebutyric acid, naphthaleneacetic acid.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, diversas acciones antrópicas han causado alteraciones y pérdidas de individuos de guayacán, destacando en el último tiempo la realización de proyectos que modifican el uso del suelo, afectando o disminuyendo el hábitat y la cantidad de ejemplares de esta especie. Además, es endémica, y está categorizada como vulnerable según el Decreto Supremo N° 51, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Por otra parte, cuando un proyecto elimina individuos de alguna especie, se ha llegado a la convención de reforestar mediante plantación de nuevos ejemplares de la especie afectada, como medida de compensación, cuando no es suficiente o probable una mitigación o reparación. Esta medida busca generar un efecto positivo y equivalente al daño realizado, pero por ser guayacán una especie vulnerable, comúnmente en las resoluciones de calificación ambiental se exige plantar en razón 1:5 a 1:10 (de 5 a 10 guayacanes por cada individuo afectado). Además, en muchos casos se desea conservar en forma íntegra el patrimonio genético de los individuos que podrían ser eliminados. A pesar de esta compensación, la sobrevivencia de todos estos nuevos individuos a largo plazo no está garantizada (MMA y SEA, 2014).

La propagación vegetativa surge como una alternativa para reproducir especies con problemas de germinación, esta no se ve afectada por la cantidad o la calidad de las semillas, puesto que utiliza una porción del individuo, ya sea una rama, hoja, raíz, etc. Además, este tipo de propagación conserva las mismas características genéticas que la planta madre, lo cual podría significar que estas plantas lograrían sobrevivir de mejor manera si el lugar donde van a plantar los nuevos individuos es similar al que se encontraba la planta madre, incluyendo similitud en eventos como lluvias.

Por esta razón resulta importante conocer los métodos de propagación vegetativa que permitan aumentar el conocimiento de la especie y la aplicación de planes y programas de conservación, especialmente cuando existe poca información y bajo nivel de éxito de propagación de guayacán por métodos vegetativos.

El guayacán (*P. chilensis*), es un arbusto o árbol pequeño que mide hasta 7 m de altura, su copa es globosa y su tronco de hasta 20 cm de diámetro. Posee ramas gruesas, tortuosas, duras, punzantes y divaricadas las cuales forman ángulos muy abiertos y poseen un color gris a gris cenicienta (Rodríguez *et al.*, 1983; Vita *et al.*, 2008). Sus hojas son opuestas, paripinadas, glabras, casi sésiles, compuestas de 6-10 pares de folíolos linear-oblongos, los cuales son mucronados u obtusos hacia el ápice (Hechenleitner *et al.*, 2005). Estas persisten en períodos prolongados de sequía, pero puede ser caduco de verano en forma optativa por estrés hídrico, lo cual la hace una especie resistente a la sequía (Muñoz y Serra, 2006; Rallo *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 1983; Vita *et al.*, 2008).

Sus flores son solitarias, hermafroditas, axilares y de color morado oscuro. El fruto es una cápsula violácea dehiscente, de 4 a 5 lóbulos muy profundos, con numerosas semillas (Vita *et al.*, 2008). Con respecto a su fenología, su floración se hace presente entre los meses de julio y octubre, y sus frutos maduran entre los meses de diciembre y febrero (Vita *et al.*, 2008).

Crece desde la Provincia del Elqui¹ (IV Región) hasta la Provincia de Colchagua (VI Región), pertenecientes a las regiones de clima mediterráneo árido, semiárido y subhúmedo de Chile, las cuales se encuentran sometidas a los procesos más intensos de desertificación (Vita *et al.*, 2007). Guayacán habita desde el nivel del mar hasta los 1300 msnm, principalmente en faldeos cordilleranos y lugares secos, asoleados (Vita *et al.*, 2007; Cabello, *et al.*, 2013). También, se encuentra en pendientes rocosas de los cerros y en laderas costeras sobre lugares rocosos en la región del Matorral y del Bosque Esclerófilo. Actualmente, se le encuentra de forma camefitizada y arbustiva mayormente, debido a las presiones antrópicas (Vita *et al.*, 2008).

De acuerdo con la presencia de guayacán según pisos vegetacionales (Luebert y Pliscoff, 2006), se encuentra en los siguientes pisos vegetacionales (Figura 1):

1. Bosque esclerófilo mediterráneo andino de *Quillaja saponaria* y *Lithrea caustica*.
2. Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Prosopis chilensis*.
3. Matorral arborescente esclerófilo mediterráneo interior *Quillaja saponaria* y *Porlieria chilensis*.
4. Matorral desértico mediterráneo interior de *Flourensia thurifera* y *Colliguaja odorifera*.
5. Matorral desértico mediterráneo interior de *Heliotropium stenophyllum* y *Flourensia thurifera*.
6. Matorral espinoso mediterráneo interior de *Trevoa quinquinervia* y *Colliguaja odorifera*.

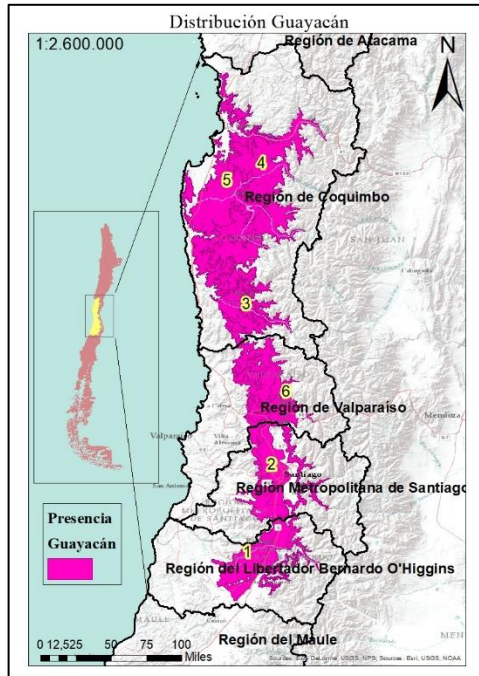


Figura 1: Distribución potencial de Guayacán según pisos vegetacionales. Modificado a partir de Luebert y Pliscoff, (2006).

¹ Comunicación personal con el Sr. Antonio Vita, 2017.

Si bien guayacán no tiene grandes dificultades para su propagación por semillas, no obstante, es difícil disponer de estas en cantidad y calidad debido a factores entre los que destaca añerismo y predación al ser una especie altamente palatable, lo cual disminuye la cantidad de semillas disponibles y hace más difícil su reproducción a mediana y gran escala. Guayacán posee un porcentaje de germinación de hasta 75% en condiciones de laboratorio, pero por ser una especie muy palatable, que además presenta añerismo en su producción y calidad de semillas, la disponibilidad de estas es baja (Hechenleitner *et al.*, 2005), por lo cual no se cuenta con la garantía de asegurar su propagación, haciéndose necesaria la propagación vegetativa.

En cuanto a la propagación vegetativa o asexual no se posee información publicada para esta especie, pero si algunas experiencias de estudios realizados en viveros particulares, CONAF y el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Este estudio pretende dar a conocer avances que permitan contribuir al conocimiento de la propagación vegetativa por estacas de brotes vegetativos de guayacán.

1.1 Propagación vegetativa

La propagación vegetativa es la forma asexual de reproducción de una planta y consiste en la obtención de un individuo a partir de un tejido o estructura vegetativa de la planta madre (De la Fuente *et al.*, 2011). Esta técnica, permite capturar y transferir al nuevo árbol todo el potencial genético del progenitor (Escobar, 2007; Mansilla, 2004). No obstante lo anterior, esta técnica puede conllevar riesgos cuando existe un cambio del ambiente y las plantas madre no tienen las estrategias para sobrellevarlo. Su éxito depende fundamentalmente de dos características, que esencialmente poseen todas las células vivientes. Una de ellas es la totipotencia celular. La otra, es la desdiferenciación, la cual se refiere a la capacidad de las células parenquimáticas de volver a una condición meristemática y desarrollar un nuevo punto de crecimiento (Soto, 2004). La capacidad para generar raíces adventicias varía de especie en especie y también entre individuos, así como la facilidad y velocidad para que suceda.

Este tipo de propagación tiene ventajas como desventajas, por lo cual dependerá del propósito final si es recomendable. Según Soto (2004), Escobar (2007) y De la Fuente *et al.* (2011), las ventajas y desventajas más importantes de este tipo de propagación son las que se muestran en el cuadro 1:

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de la propagación vegetativa.

Ventajas	Desventajas
<p>Las plantas no deben superar un largo periodo juvenil para comenzar a dar frutos de forma precoz, debido a que tienen características de un vegetal adulto.</p> <p>Las plantas generan descendencias homogéneas desde el punto de vista genético e idénticas a la planta madre.</p>	<p>Las descendencias agámicas (asexuales) son más propensas a transmisiones de enfermedades virales que posean las plantas madres.</p> <p>Se elimina el aporte de diversidad genética en la especie, al ser clones de una planta madre.</p>

Según Vázquez *et al.*, (1997) son esencialmente tres los tipos de reproducción asexual: la micropropagación, la propagación a partir de segmentos de la planta y la propagación por injertos. En este estudio se utilizaron estacas de brotes vegetativos, por ser un método rápido y económico en el que se pueden obtener numerosos individuos de una misma planta madre.

Las principales consideraciones al realizar este método de propagación son: la elección de la planta madre, la posición de la estaca en la rama, la época del año en que se recolecta el material y en la que se instala el ensayo, las características de la estaca, el tipo de corte, la manipulación y conservación de las estacas hasta su instalación, el tipo de sustrato y la temperatura, además de la elección de algún(os) inductor(es) de enraizamiento. (Blažková *et al.*, 1997; Latsague *et al.*, 2008; Sisaro y Hagiwara, 2016)

La planta madre debe tener buen estado sanitario, nutricional e hídrico. La estaca a recolectar se recomienda que posea al menos dos nodos en su extensión (Berner, 2004; Pijut *et al.*, 2011), y que tenga entre 10 y 20 cm de longitud. El corte se recomienda que sea realizado debajo de un nodo y que sea recto, para evitar la formación del sistema radículas solo en un lado. En cuanto a la manipulación es importante evitar la pérdida de agua de los esquejes, así como también el aumento de temperatura en el transporte. Para conservar las estacas se recomienda realizarlo dentro de bolsas de plástico cerradas, y en cámaras de frío a una temperatura de 3-10°C. El tipo de sustrato ideal es el que le proporcione la humedad, aireación y nutrientes necesarios a la estaca (Aldana, 2009). La temperatura del sustrato se recomienda sea entre 15 y 25°, según lo indicado en estudios realizados por Vázquez *et al.* (1997) y Pijut *et al.* (2011), en especies de madera dura.

Varios factores ambientales y endógenos regulan el desarrollo de raíces adventicias. Las fitohormonas tienen roles complejos, ejerciendo efectos directos (división y crecimiento celular), o indirectos (interactuando con otras moléculas o fitohormonas) (Correa y Fett-Neto, 2004). Entre los factores ambientales, la temperatura puede potencialmente influenciar la capacidad de enraizamiento en varios aspectos como el ingreso de agua y nutrientes y el metabolismo, promoviendo o inhibiendo la acción enzimática.

1.2 Propagación en guayacán

La propagación de guayacán por semillas ha sido más estudiada que la vegetativa, por lo cual, la literatura publicada para el primer caso es más abundante.

Cabello *et al.* (2013), estudiaron el efecto de la temperatura de cultivo y la estratificación fría, concluyendo que el tratamiento óptimo es de 60 días de estratificación fría o por remojo en ácido giberélico (GA) por 24 horas a 400 ppm. La temperatura óptima para la germinación estuvo en el rango de 20 y 25°C, con los mejores porcentajes de germinación. Por otro lado, según Hechenleitner *et al.* (2005), el mejor tratamiento consiste en escarificar o remojar las semillas en agua caliente durante media hora, posteriormente sembrarlas sobre un sustrato arenoso y mantener bajo riego con moderación para así obtener sobre un 50% de germinación.

A pesar de que, en el marco de esta memoria, no se han encontrado publicaciones con respecto a la propagación vegetativa de guayacán, se sabe que algunos viveros han

realizado ensayos con resultados generalmente bajos, en términos de porcentaje de enraizamiento, como también así lo ha hecho CONAF en la Reserva Nacional las Chinchillas, no obteniendo buenos resultados (Vita *et al.*, 2008).

En un ensayo previo realizado por el Centro de Semillas y Árboles Forestales de la Universidad de Chile denominado “Rescate de germoplasma para ensayos de propagación vegetativa en *Porlieria chilensis*”, se colectaron estacas de brotes vegetativos de guayacán durante la quincena de diciembre del 2016. Estas fueron sometidas a cuatro tratamientos: T0= Tratamiento testigo (sin agentes enraizantes); T1= IBA en 800 p.p.m; T2= IBA a 4.000 p.p.m; T3= ANA a 4000 ppm. Se instaló el mismo ensayo en dos condiciones; el primero en una cámara de crecimiento con condiciones controladas (humedad relativa al 60%, temperatura: 30°C de día y 25°C de noche, 16 horas de luz, 8 de oscuridad y riego dos veces por semana), y el segundo en condiciones estándar de viverización con un sombreado por medio de mallas. En la primera semana se observó pérdida de vigor y en algunos individuos caída de hojas en respuesta al estrés de instalación del ensayo. Esta misma característica se siguió observando (la pérdida de vigor), pero adicionalmente se observó la aparición de nuevos brotes, en ambos casos. A fines de abril, luego de cuatro meses, se levantó el ensayo, pero sin resultados referentes a enraizamiento. En el caso de las estacas puestas en la cámara de crecimiento los resultados fueron nulos con respecto a enraizamiento y brotes nuevos. En cuanto a las estacas puestas en condiciones de vivero, estas tampoco tuvieron enraizamiento, pero si hubo estacas que permanecieron con brotes hasta el término del ensayo, o generaron nuevos brotes, por lo cual se piensa que pueden llegar a enraizar si se dejan por un tiempo más. Las estacas que presentaron brotes al final del ensayo fueron 9 en total (0,017% del ensayo completo y 0,035% del ensayo en condiciones de vivero); 8 correspondieron a T1 y la restante a T2².

Por último, el objetivo general de este estudio es analizar el efecto de la temperatura y el uso de sustancias enraizantes sobre la formación de raíces adventicias en estacas leñosas de *Porlieria chilensis*. Los objetivos específicos son estimar las respuestas morfológicas a nivel macroscópico de estacas de *P. chilensis* sometidas a tres condiciones de temperatura de sustrato durante 24 semanas; estimar el efecto de tres enraizantes sobre la respuesta morfológica a nivel macroscópico de estacas de *P. chilensis*, en condiciones de vivero, Además de determinar si existe interacción entre los niveles de temperatura y las dosis de enraizantes aplicadas sobre el desarrollo de raíces u otros órganos.

² Comunicación personal con el Sr. Iván Grez, 2017

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

2.1.1 Área de estudio

Este ensayo se realizó en dependencias del Centro productor de Semillas y Árboles Forestales (CESAF), y el vivero del Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile.

2.1.2 Material vegetativo y enraizantes

El material vegetativo correspondió a estacas leñosas de *P. chilensis*, del crecimiento vegetativo de la temporada anterior, recolectadas de árboles madre provenientes de la Precordillera de la Región Metropolitana.

Para la recolección del material y para cortar las estacas se utilizaron tijeras de podar. Además, cuando se realizó el corte de estacas se utilizaron vasos precipitados de 1 litro de capacidad, con la finalidad de mantener la base de la estaca hidratada. Se utilizó también una cámara de frío para mantener las estacas almacenadas desde la corta hasta la aplicación de los enraizantes e instalación en las bandejas.

El sustrato de crecimiento fue fibra de coco hidratada. Además, se utilizaron tres enraizantes, dos de origen comercial: Ácido indolbutírico (IBA), el cual es adquirido como iba root, y Ácido naftalenacético (ANA), el cual fue adquirido como keri root, ambos vienen como una preparación en polvo; y un enraizante natural, sin químicos, en base a un licuado acuoso de semillas de lentejas germinadas y maceradas.

2.1.3 Contenedores

Se trabajó con bandejas de poliestireno expandido (speedling), de 84 cavidades (12 x 7) y capacidad de 135 cm³ por cavidad. Además, se utilizaron contenedores sin estacas para eliminar el efecto borde, por convección de calor.

2.1.4 Temperatura

Para controlar la temperatura mínima del sustrato se utilizaron dos placas de resistencia eléctrica (camas calientes o de enraizamiento), las cuales tienen una dimensión de 178x80x5 cm, que fueron controladas por termostatos que poseen una función para limitar la temperatura. Por medio de un medidor de temperatura que va conectado al sustrato se controló el límite mínimo establecido. Para la temperatura testigo, las bandejas con las repeticiones para cada enraizante se dispusieron directamente sobre la superficie del mesón metálico.

2.2 Métodos

La metodología general consiste en nueve etapas, comenzando por la selección de la época de cosecha, la cosecha del material vegetativo y transporte, la conservación y corte de las

estacas, la instalación de estas (que posee tres partes) siguiendo el diseño experimental planteado, la mantención de las estacas que incluye el riego, el registro de humedad y temperatura, para finalizar con levantamiento de las estacas tomando las evaluaciones correspondientes y el posterior análisis de los datos. Estas etapas se describen a continuación.

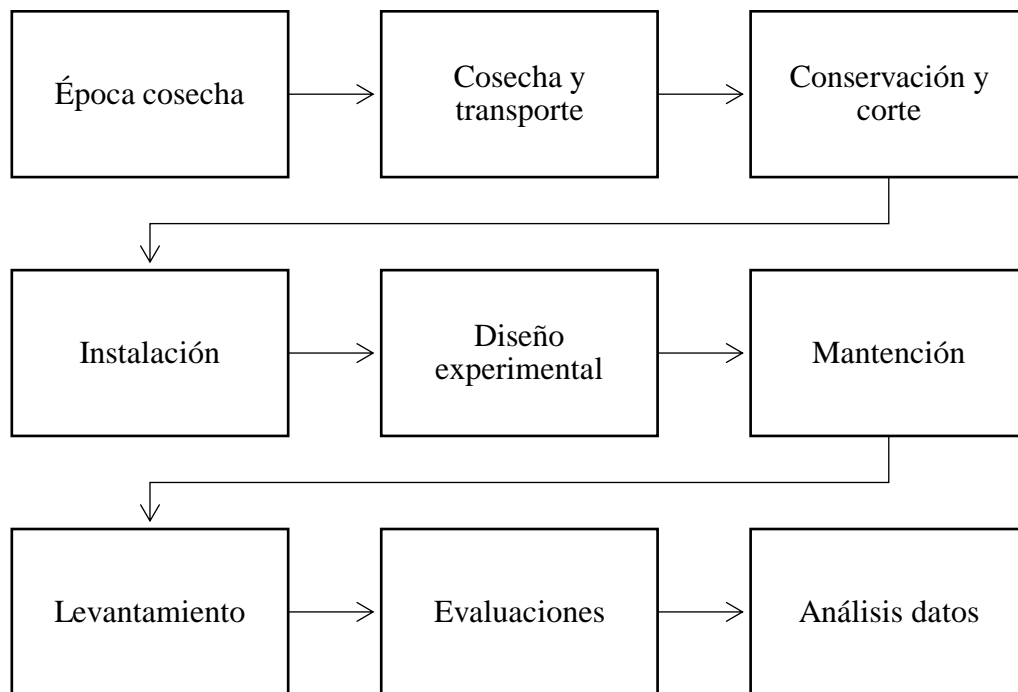


Figura 2: Esquema metodológico

2.2.1 Elección época de cosecha

Para elegir la fecha adecuada de cosecha o recolección del material vegetativo se utilizó la información obtenida de Berner, 2004 , Sisaro y Hagiwara, 2016, donde estos autores indican que, para las especies de madera dura, la mejor época es otroño-invierno. Además, se indica que idealmente las estacas no deben tener ni flor ni fruto, para evitar el uso de los recursos en el desarrollo de estos órganos, y enfocarlos a la formación de cayos y raíces.

2.2.2 Cosecha del material vegetativo y transporte

La cosecha del material vegetativo fue realizada el día 19 de mayo de 2017, a partir de individuos de guayacán ubicados en las comunas de Pique y San José de Maipo. Se recolectaron estacas apicales del segmento medio de la copa de individuos sanos, con el propósito de utilizar material vegetativo de la temporada anterior. Las estacas fueron separadas por procedencia, y transportadas manteniendo la humedad de la parte basal.

2.2.3 Conservación y corte de las estacas

El material recolectado fue guardado en bolsas plásticas cerradas, separadas por su procedencia, y fue dispuesto dentro de una cámara de frío a una temperatura de 3-10°C por 3-7 días, desde el día de la recolección. Durante estos días se realizó el corte de las estacas con las tijeras podadoras, dejando todas las estacas de un tamaño uniforme de 15 cm, con

presencia de hojas en el tercio superior y poniéndolas en vasos de precipitado de 1 litro de capacidad para que la base de la estaca no pierda la humedad y así poder realizar la aplicación de los enraizantes.

2.2.4 Instalación de las estacas

Se utilizaron inductores de enraizamiento químicos y naturales según lo recomendado en la literatura con el fin de obtener mejores resultados en términos del porcentaje de enraizamiento, iniciación de las raíces adventicias, número y calidad de las raíces producidas por estacas y uniformidad del enraizamiento.

El procedimiento de instalación de las estacas se divide en tres partes:

- 1) Preparación del sustrato y llenado de bandejas; la fibra de coco se adquiere en una presentación de bloques compactados y deshidratados, los cuales fueron desmenuzados manualmente, rehidratados y desinfectados. Posteriormente la fibra de coco fue colocada homogéneamente en cada cavidad (69 g). Luego del llenado de las bandejas se realizó un riego a las mismas. Este sustrato posee excelentes cualidades físicas y una fácil manipulación. Las principales características de este tipo de sustrato son su alta capacidad de retención de agua (62% a capacidad de contenedor), una elevada aireación del sistema radicular (24% a capacidad de contenedor) y pH 6. Es un material altamente poroso, lo cual ayuda al desarrollo de la raíz y su textura fibrosa no crea una capa impermeable al secarse³ (Quiñones, 2014).
- 2) Aplicación del enraizante; se aplicaron tres enraizantes, dos comerciales que contienen auxinas ANA e IBA como preparación en polvo, a una concentración de 4.000 y 2.000 partes por millón (ppm), respectivamente, según lo recomendado por el fabricante. Para el caso de Keri root (ANA), lo primero fue humedecer la zona basal de la estaca, de esta forma la adherencia del polvo que contiene la hormona fue mayor, para luego untar la misma en el talco. Para IBA root (IBA) se disolvió el polvo en alcohol isopropílico al 50% y luego se realizó una inmersión de la base de las estacas por 3 segundos. El tercer enraizante, consistió en un licuado de semillas germinadas de lenteja (*Lens culinaris*). Este licuado es de origen natural y surgió como alternativa a probar debido a las crecientes exigencias en materia de inocuidad a la salud y al medio ambiente. El fundamento radica en que los enraizantes naturales tienen fitohormonas, que pueden utilizarse en la inducción del enraizamiento (Quispe, 2018). El procedimiento consistió en seleccionar las lentejas, de alto calibre (sobre 5-6 mm), luego se pusieron en agua potable y se descartaron aquellas que salieron a flote; posteriormente se lavaron las lentejas en una solución de agua con hipoclorito de sodio (2ml/L) y luego se enjuagaron con agua potable. A continuación, se hidrataron las lentejas por 24 horas en un recipiente con agua con una pausa para que se produjera oxigenación en estas, lo cual fue, 12 horas de remojo, 1 hora de oxigenación (pausa), y 12 horas más de remojo. Por último, se dejaron 48 horas en papel absorbente hidratado, para que estas germinaran. Finalmente, con las semillas germinadas se realizó una molienda

³ Datos medidos en porómetro de suelo en el CESAF

en agua destilada en una proporción en base a masa de 1:2 (lenteja:agua). En este enraizante se sumergió la base de las estacas durante 30 min⁴.

- 3) Instalación de estacas; luego de haber llenado las bandejas se realizó un riego, con el objetivo de que esta humedad permitiera el inicio del proceso fisiológico entre la hormona y la estaca. Posteriormente se hizo un agujero en el centro del contenedor de unos tres cm de profundidad en el cual se introdujo la estaca, con el enraizante aplicado, esto con el fin de no dañar la estaca al introducirla. Finalmente, el sustrato se apretó ligeramente con las manos para que la estaca quedara firme en el sustrato. Todo esto se puso sobre las camas calientes (placas de resistencia eléctrica), sobre unos mesones metálicos y las testigos directamente sobre el mesón.

2.2.5 Diseño experimental

Para este estudio se utilizó un diseño de parcelas divididas (Ec.1), donde la parcela principal correspondió a las condiciones de temperatura (cama caliente) en las cuales se distribuyeron al azar los tratamientos de enraizantes, según el modelo representado en la Figura 3.

$$\gamma_{ijk} = \mu + T_i + U_{(j(i))} + M_k + [(TM)]_{ik} + \epsilon_{ijk} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

T_i es el efecto de la temperatura (tratamiento de parcela grande)

$U_{(j(i))}$ es el error de la parcela grande (aleatorio)

M_k es el efecto de los enraizantes aplicados (tratamiento parcela pequeña)

$(TM)_{ik}$ interacción temperatura x enraizante

ϵ_{ijk} error de parcela pequeña (aleatorio)

Los posibles valores para i, j y k serán: i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2

Este diseño responde a que operativamente no es posible tener tantas camas calientes por combinación de enraizantes, se dispuso de tres secciones de los mesones divididos de la siguiente manera: un sector del mesón sin cama caliente (control), cama caliente programada a una temperatura mínima de sustrato de 15°C, y cama caliente programada a una temperatura mínima de sustrato de 25°C. Dentro de cada sección se dispusieron los cuatro niveles de enraizantes (IBA, ANA, NAT, TEST), lo cual resultó en 12 tratamientos, como se observa a continuación:

Cuadro 2. Total de tratamientos con la combinaciones de T° y enraizante especificados.

Tratamiento	Enraizante	Temperatura	Sigla
T1	Testigo	control	TA-TES
T2	IBA	control	TA-IBA
T3	ANA	control	TA-ANA
T4	Extracto de lentejas	control	TA-LEN
T5	Testigo	mínima 15°	T15-TES
T6	IBA	mínima 15°	T15-IBA
T7	ANA	mínima 15°	T15-ANA
T8	Extracto de lentejas	mínima 15°	T15-LEN
T9	Testigo	mínima 25°	T25-TES
T10	IBA	mínima 25°	T25-IBA
T11	ANA	mínima 25°	T25-ANA
T12	Extracto de lentejas	mínima 25°	T25-LEN

Cada tratamiento aplicado tuvo tres repeticiones (21 estacas por repetición) y la distribución de los tratamientos en la bandeja se hizo al azar con un total de 756 estacas. A continuación, se presenta el diseño del experimento, según la Figura 2:

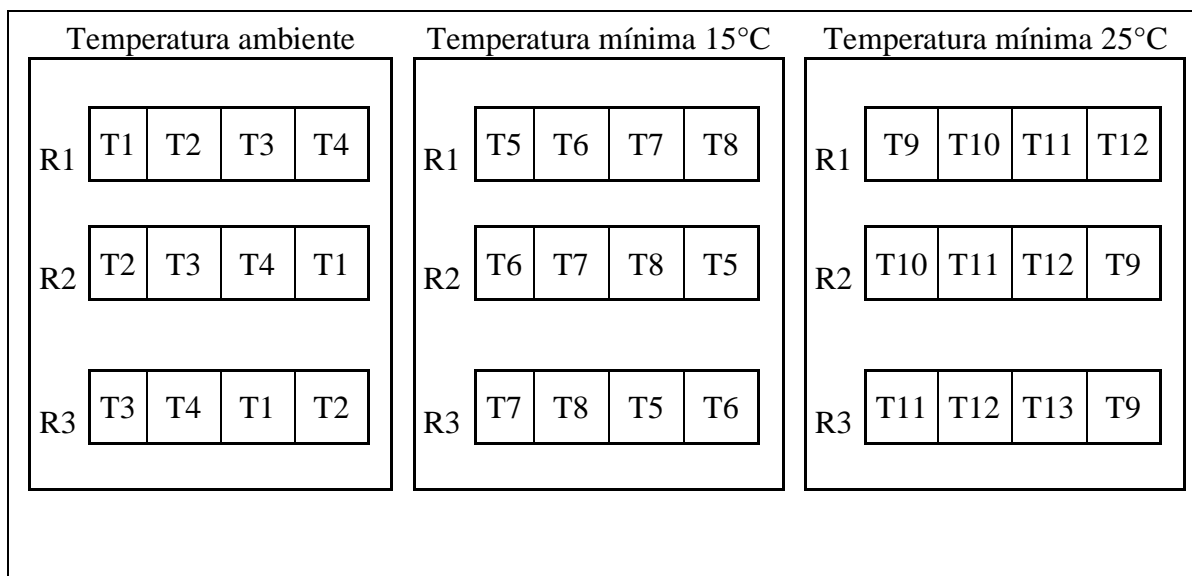


Figura 3: Diseño experimental del ensayo, repeticiones en las camas calientes

2.2.6 Mantención de las estacas

De forma periódica se regaron las estacas, cada vez que se perdió hasta un 20% del contenido de agua a capacidad de contenedor, con el propósito de mantener una humedad ideal para el desarrollo de las raíces realizando controles de peso en base a pérdida de agua en las bandejas. Además, se revisó la temperatura para corroborar que esta se mantuviera estable. Lo anterior se monitoreó utilizando sensores GS3 (Decagon devices) conectados a un Data Logger EM50 (Decagon devices) (Figura 4).

Una vez al mes se realizó un riego con fungicida (Pomarsol) para evitar la formación de hongos en las estacas o el sustrato. Además, diariamente se asperjó agua para ayudar a aumentar la humedad relativa del aire y así, reducir la transpiración.

El experimento fue ubicado bajo techo y en condiciones de control de luminosidad con luminarias fluorescentes (promedio de 3000 lx a 50 cm).

2.2.7 Levantamiento de las estacas

Luego de 24 semanas se realizó el levantamiento, para lo cual las bandejas fueron tomadas una a una para retirar las estacas de forma individual cuidadosamente, y así no dañar las raíces en el caso de existir. Luego, las estacas se limpiaron con el propósito de observar con mayor facilidad la presencia de callos o raíces.

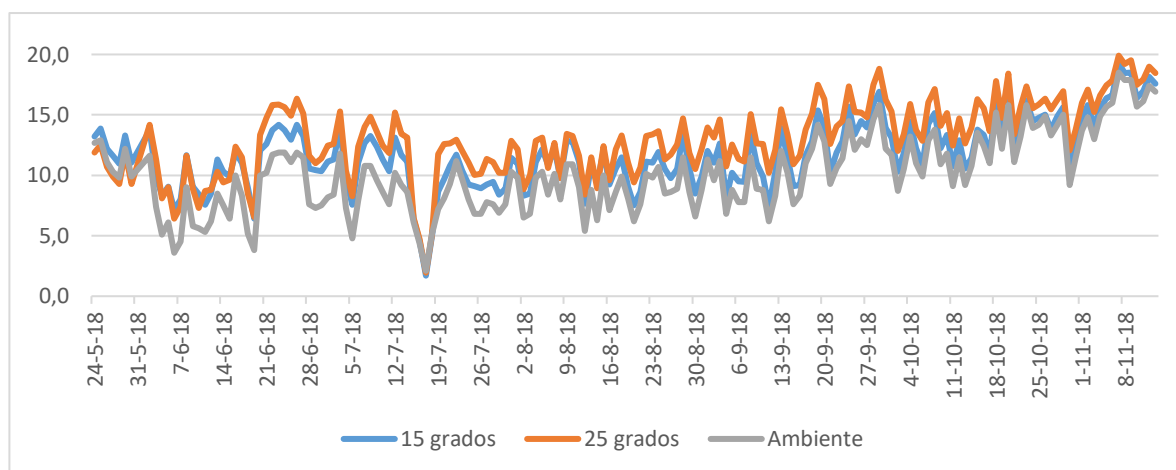


Figura 4: Temperatura mínima diaria según datos tomados con data logger

2.2.8 Evaluaciones

Después de las 24 semanas de duración del ensayo, se extrajeron todas las estacas para observar sus resultados. Las variables de respuesta registradas fueron las siguientes:

- Supervivencia
- Presencia de hojas
- Abundancia de hojas
- Número de hojas
- Estado sanitario
- Presencia de raíz o callo
- Número de raíces
- Longitud de la raíz

Para el caso del estado sanitario, las estacas se evaluaron según los siguientes criterios:

Cuadro 3. Criterios para el estado sanitario

Estado sanitario	Criterio
Bueno	Poseen hojas vivas y no presentan pudrición
Regular	No poseen hojas ni pudrición
Malo	Se encontraban con estado de pudrición

2.2.9 Análisis de datos

Debido a que cuatro de las ocho variables de los resultados de este ensayo son del tipo categóricos (no numéricos), y a que no se cumplieron los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas, se realizaron dos pruebas estadísticas según naturaleza de la respuesta: tablas de contingencia para las variables categóricas (sobrevivencia, presencia de hojas, abundancia de hojas y estado sanitario) y prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable continua (Número de hojas).

El análisis por tablas de contingencia consiste en determinar el tipo de asociación existente entre pares de variables, lo cual se denomina cruce de variables. Los posibles resultados son: que no exista asociación alguna, en ese caso las variables son independientes, o que existan diferentes grados de asociación.

Para tener un resultado más certero que solo la observación de los valores de la tabla, con el fin de medir la asociación o independencia, se utilizó el estadístico Chi-cuadrado. Se calculó un valor, con la fórmula que se encuentra en el anexo II, y se realizó la prueba Chi-cuadrado, que consta de una prueba de hipótesis para confirmar la asociación entre las variables que se cruzan.

Las hipótesis a poner a prueba son:

H_0 : Hay independencia entre las variables (No hay efecto)

H_1 : No hay independencia (Hay efecto)

Para realizar la prueba se compara el estadístico calculado, con el valor obtenido de la tabla chi-cuadrado (anexo III). Cuando el valor obtenido fue mayor que el de la tabla, se rechazó la hipótesis H_0 , y, por lo tanto, se concluyó que no existía independencia entre las dos variables, por el contrario, existe asociación o efecto.

De las otras cuatro variables restantes, tres no pudieron ser analizadas debido a los bajos valores obtenidos, la restante fue analizada con Kruskal-Wallis, que consta en la comparación de las medianas para conocer si todas las muestras poseen una misma distribución, o al menos una es diferente.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación, sobre el desempeño de las estacas de brotes vegetativos de *Porlieria chilensis* frente a condiciones de temperatura y enraizantes se presentan en número de individuos vivos, porcentaje de sobrevivencia total, presencia de hojas, estado sanitario, número de hojas, presencia de raíz o callo, número de raíces y longitud de raíces.

Después de 24 semanas de duración del ensayo, este fue levantado para observar sus resultados. El análisis estadístico propuesto inicialmente (ANDEVA) no pudo realizarse debido a los bajos valores obtenidos de enraizamiento. Se analizó cada medición tomada al momento de levantar el ensayo. En el caso de las raíces, solo dos estacas mostraron presencia de estas al finalizar el ensayo, lo que representa un 0,3%, ambas fueron sometidas al mismo tratamiento (T11: ANA y T° mín. 25C), y además provenían del mismo árbol madre. Las dos estacas enraizadas (Figuras 5 y 6) presentaron 9 y 14 raíces, con una longitud promedio de 2,4 y 1 cm respectivamente. Al respecto, Ovando *et al.* (2007), mencionan que la propagación vegetativa depende de las condiciones fisiológicas de la planta madre y de las variables climáticas. Además, mencionan que los bajos resultados que obtuvieron en su ensayo de propagación vegetativa de *Tabebuia heptaphylla* pueden deberse a la reducción de actividad fisiológica por la entrada en período de latencia en la temporada de frío.

Para el caso de callos, solo una estaca presentó cuatro al final del ensayo, correspondiente al tratamiento de IBA y T° mínima de 15°C. No obstante, no es posible confirmar que efectivamente se convertirían en raíces, al ser la única estaca que presentó callos.

El escaso número de estacas enraizadas y con callo obtenidos puede deberse a lo señalado por Gutiérrez (1995), en relación con la edad del material vegetativo. El mismo autor señala que la capacidad de enraizar está asociada a la fase juvenil de desarrollo de un árbol, pero por el momento la ausencia de marcadores que definan esta fase, más allá de las características morfológicas, limita la capacidad de determinar si efectivamente ha ocurrido rejuvenecimiento y que no sea solo una revigorización del individuo. Además, señala que el efecto de la auxina depende de la especie como del grado de madurez del árbol u órgano desde donde se extrae la estaca. A pesar del escaso enraizamiento obtenido, como guayacán es una especie de difícil enraizamiento, los resultados de este estudio son la base de futuras investigaciones.

Por otro lado, Pacheco (2007), señala que, para olivo, la época de propagación es fundamental, al igual que la humedad ambiental debido a la presencia de hojas en la estaca. En este caso la humedad ambiental no fue controlada, lo que pudo haber afectado el enraizamiento. El mismo autor adjudica el bajo porcentaje de enraizamiento a las altas temperaturas (sobre 35°C), las cuales estimula un desarrollo de yemas inicialmente y luego de raíces, aumentando la pérdida de agua por las hojas. Con respecto a la temperatura Tapia (2003) menciona que la parte aérea debe mantenerse a una temperatura más baja, de 2 a 3 °C menos que la zona de las raíces, para disminuir la actividad evapotranspirativa

Saldías (2016), en un ensayo de enraizamiento de *Monttea chilensis* con diferentes concentraciones de IBA, concluyó que la aplicación de enraizante no incrementó el enraizamiento, a concentraciones de 1500 ppm los resultados fueron muy similares al testigo y en concentraciones menores o mayores los resultados fueron negativos. Además, el mismo autor señala que los esquejes no presentaron capacidad regenerativa debido al estrés hídrico en el que se encontraban las plantas madre.



Figura 5: Raíces estaca 1



Figura 6: Raíces estaca 2

3.1 Sobrevivencia

Esta medición considera a todas aquellas estacas que posean un estado sanitario bueno y regular, en una escala de bueno, regular y malo o muerto.

3.1.1 Efecto de la temperatura

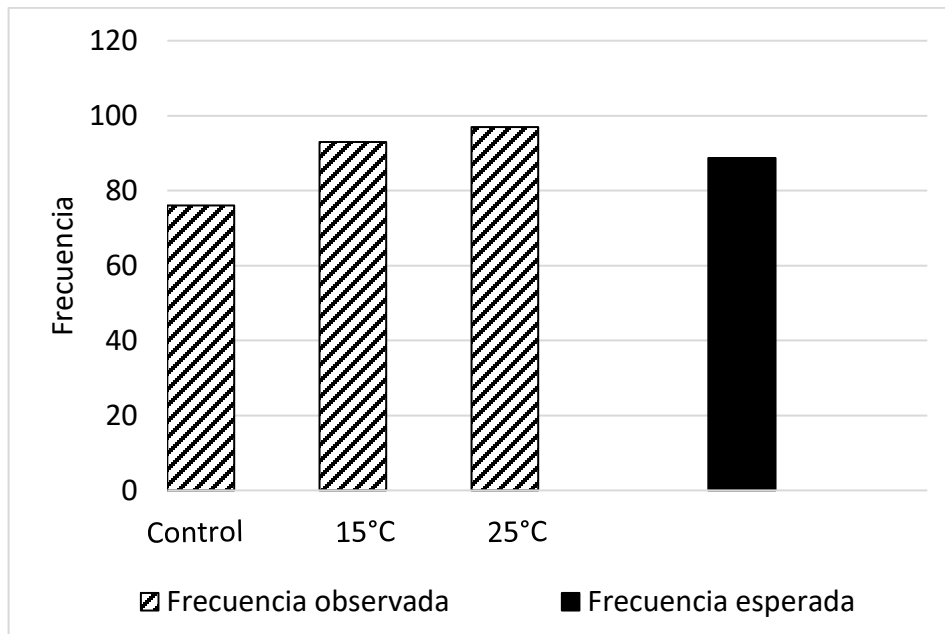


Figura 7: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia de sobrevivencia de guayacán por temperatura

Los valores de sobrevivencia no son iguales para las tres temperaturas, sin embargo, estos no poseen diferencias significativas con los valores esperados (Chi-cuadrado), el único que se encuentra aparentemente bajo el valor esperado es el de la temperatura control (Figura 7). La prueba de chi-cuadrado (Apéndice I.i), señala que la hipótesis de independencia se cumple, por lo que la temperatura no es una variable que tenga un efecto en la sobrevivencia de las estacas de forma importante.

Vignolio *et al.* (1994), señalan que altas temperaturas se ven asociadas a daño y muerte de individuos de *Lotus tenuis* y *L. corniculatus*, lo cual no ocurrió en este ensayo. Por el contrario, a mayor temperatura de sustrato fue mayor el número de estacas vivas. Por otro lado, Gómez y Roselló (1997), adjudican la muerte de estacas a temperaturas extremas (altas y bajas), lo cual indicaría, como se observa en la Figura 4, que las bajas temperaturas alcanzadas durante la noche pueden ser la causante de la muerte de algunas estacas sin control de temperatura mínima (Figura 4).

3.1.2 Efecto de los enraizantes

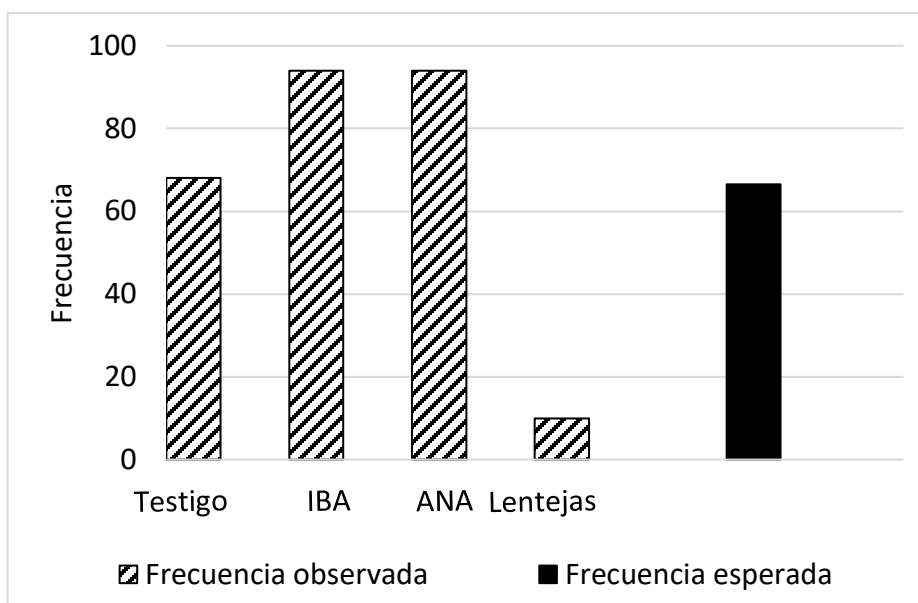


Figura 8: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia sobrevivencia de guayacán por enraizante

De acuerdo a lo observado en la figura 8, la sobrevivencia está asociada con el enraizante, lo cual se comprueba al observar las diferencias existentes entre las frecuencias observadas y la esperada, donde la mayoría de los valores está sobre la frecuencia estimada, solo aquellas estacas enraizadas con licuado de lentejas se encuentran bajo el valor esperado. Al observar la prueba de chi-cuadrado (Anexo I.i), también se confirma esta asociación, ya que al ser mayor el valor calculado que el de la tabla, según los grados de libertad, se rechaza la hipótesis de independencia de las variables, y por lo tanto confirma la asociación, lo que significa que el enraizante utilizado afecta en la sobrevivencia de las estacas. Las estacas enraizadas con IBA y ANA con las que obtuvieron una mayor sobrevivencia, con el 12,4% y la sobrevivencia más baja fue para aquellas enraizadas con licuado de lentejas (1,3%)

Ramos *et al.* (2006), obtuvieron como resultado una mayor sobrevivencia al aplicar hormonas enraizantes en comparación al testigo en *Chlorophora tinctoria*, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este ensayo, siendo mayor el resultado al enraizar con ANA. Por el contrario, indican que al utilizar una dosis muy elevada de la hormona la sobrevivencia es menor que la del testigo, que es lo que pudo haber ocurrido con el extracto de lentejas, no era la dosis adecuada de hormonas para guayacán. Cajamarca (2016), también obtuvo buenos resultados de sobrevivencia al utilizar hormonagro, agua de coco y extracto de lentejas.

3.1.3 Interacción temperatura y enraizante

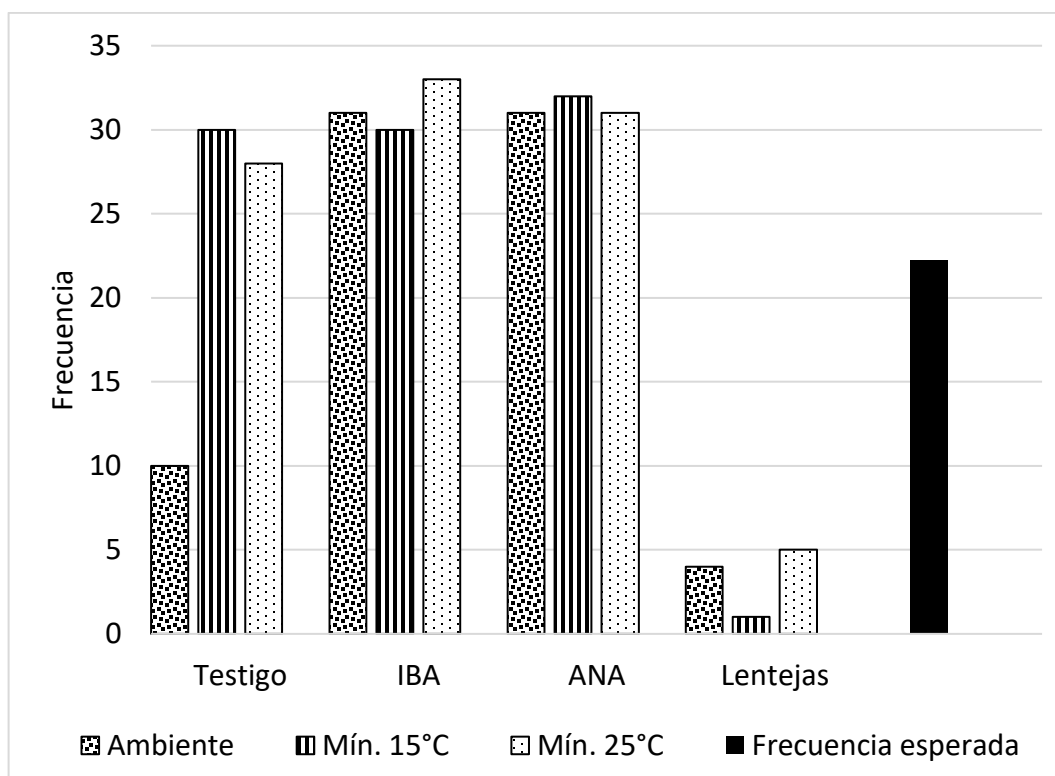


Figura 9: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia sobrevivencia de guayacán por tratamiento

La sobrevivencia, posee un alto nivel de asociación con la interacción entre las temperaturas y los enraizantes aplicados. Esto se demuestra al observar los valores de chi-cuadrado, donde el valor calculado posee una diferencia de más de 100 con respecto al de la tabla (Anexo I.i), lo que indica que la sobrevivencia depende de los tratamientos aplicados (temperatura x enraizante) a las estacas.

Si se observan las diferentes temperaturas de un mismo enraizante (Figura 9), no existe una gran diferencia entre ellos en el caso de ANA e IBA, pero si se observa un cambio de ranking en el caso de las estacas testigo y las tratadas con licuado de lentejas. Para el tratamiento testigo se observa un menor desempeño con temperatura ambiente, en el caso del extracto de lentejas la menor sobrevivencia se obtuvo al aplicar una temperatura mínima de 15°C. Además, los tratamientos con enraizante de lentejas siguen teniendo los valores notoriamente más bajos, mientras que aquellos con IBA y ANA no poseen gran diferencia por la temperatura en su frecuencia (1 a 2 unidades). Al analizar el gráfico de frecuencias, se observa que los resultados que más se alejan por debajo del valor esperado son aquellos con tratamiento de enraizante de lentejas en las tres temperaturas aplicadas, siendo el resultado más bajo para aquellas con la combinación extracto de lentejas y temperatura mínima de 15°. Los otros tratamientos no poseen diferencia significativa entre ellos, pero poseen una sobrevivencia mayor a la esperada, excepto el tratamiento testigo con temperatura ambiente, que al igual que las estacas enraizadas con extracto de lentejas se encuentra por debajo de la frecuencia esperada.

En el cuadro 5 (Anexo I.i) se logra observar que al final del ensayo existía un mayor porcentaje de estacas muertas. Lo cual resulta en una baja sobrevivencia, que corresponde al 35,2%.

Con respecto al enraizante utilizado Otahola *et al.* (2010) indican que para estacas de *Pasiflora edulis* la utilización de ANA favorece la sobrevivencia y es más eficiente que IBA. En el caso de guayacán tuvieron los mismos resultados. Cruz *et al.* (2008), obtuvieron una sobrevivencia de 93,33% para estacas de *Triplaris guayaquilensis* aplicando enraizantes a bajas concentraciones. Osorio (2009) obtuvo mejores resultados de sobrevivencia en las estacas testigo de *Proustia cuneifolia* que en aquellas con ANA, y señala que este valor indica el máximo de estacas que podrían presentar un posterior desarrollo de raíces. Además, el mismo autor probó diferentes épocas de cosecha de estacas, obteniendo los mejores resultados en aquellas colectadas en otoño.

3.2 Presencia de hojas

Fueron consideradas aquellas estacas que se encontraban con hojas vivas (actividad fotosintética) al finalizar el ensayo.

3.2.1 Efecto de los enraizantes

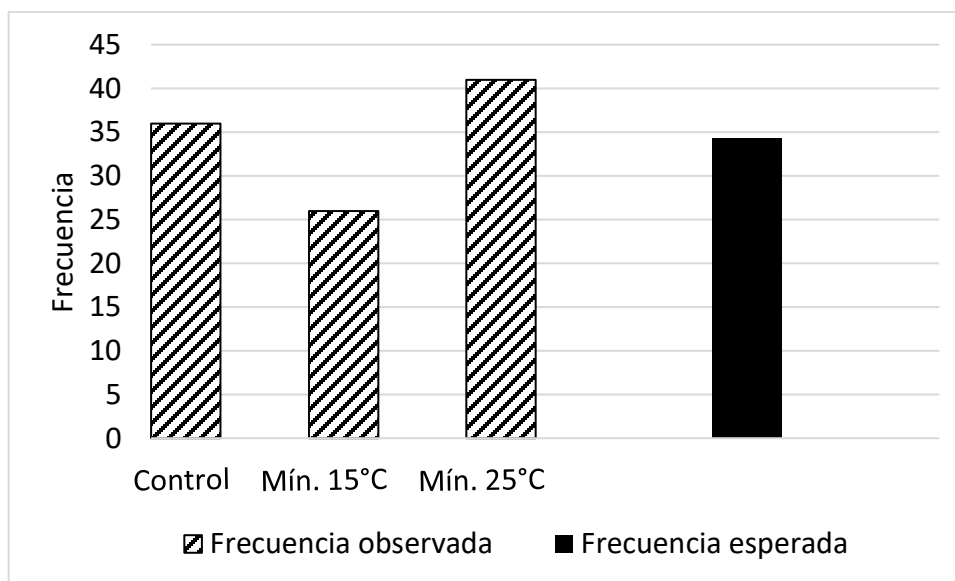


Figura 10: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Presencia de hojas de guayacán por temperatura

Al igual que en la sobrevivencia, la temperatura no presenta asociación con la presencia de hojas, se observa claramente en la similitud existente entre los valores de frecuencia observada y frecuencia estimada, además, se corrobora con la prueba de chi-cuadrado (Anexo I.ii). El valor calculado es inferior al valor obtenido de la tabla según los grados de libertad, por lo tanto, se acepta la hipótesis de independencia, o sea que una de las variables no es condicionante de la otra. En este caso, los valores aparentemente más bajos son para las estacas puestas en la cama caliente a una temperatura mínima de 15° (figura 10).

Larcher (2000), indica que temperaturas muy altas o muy bajas limitan la actividad fotosintética, lo cual disminuye la creación de nuevas hojas, esto indica que una temperatura de sustrato de 15°C es muy baja para la creación de hojas nuevas.

Christiansen y Jornsgard (2005) y Uzun (2006), indican que la formación de hojas es mayor a temperaturas más elevadas, y que decrece linealmente con la temperatura, lo cual explica que aquellas estacas con una temperatura mínima de sustrato de 25°C tengan mejores resultados.

3.2.2 Efecto de los enraizantes

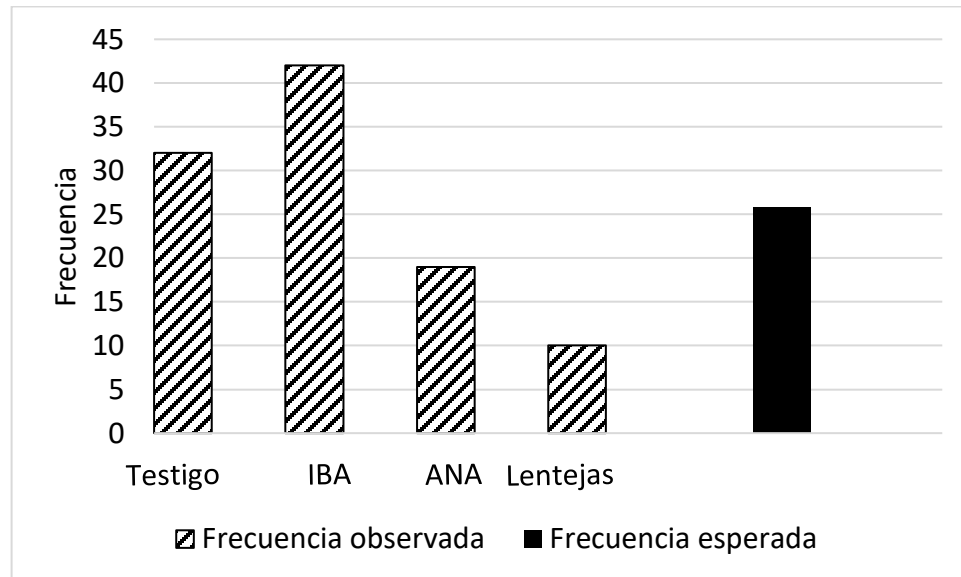


Figura 11: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Presencia de hojas de guayacán por enraizante

Los resultados de la presencia de hojas para los enraizantes presentan diferencias visibles entre los valores de frecuencia observada y esperada (Figura 11), lo que se comprueba con el valor de chi-cuadrado, donde el valor calculado es mayor al de la tabla (Anexo I.ii), lo que indica que se rechaza la hipótesis de independencia y que el enraizante está actuando sobre la presencia de hojas en las estacas. En este caso la diferencia no es tan abrupta como en el caso de la sobrevivencia, pero de igual forma el valor calculado es mayor, lo cual indica que el enraizante condiciona la presencia de hojas. El enraizante que entregó los mejores resultados en este caso fue IBA, con un 22,2% del total. Los valores que tienen los resultados más bajos son las estacas enraizadas con ANA y licuado de lentejas, que se encuentran bajo los valores de frecuencia esperada, con un 2,5% y 1,3% respectivamente, siendo nuevamente el resultado más bajo para el enraizante en base a lentejas (Figura 11).

3.2.3 Interacción temperatura y enraizante

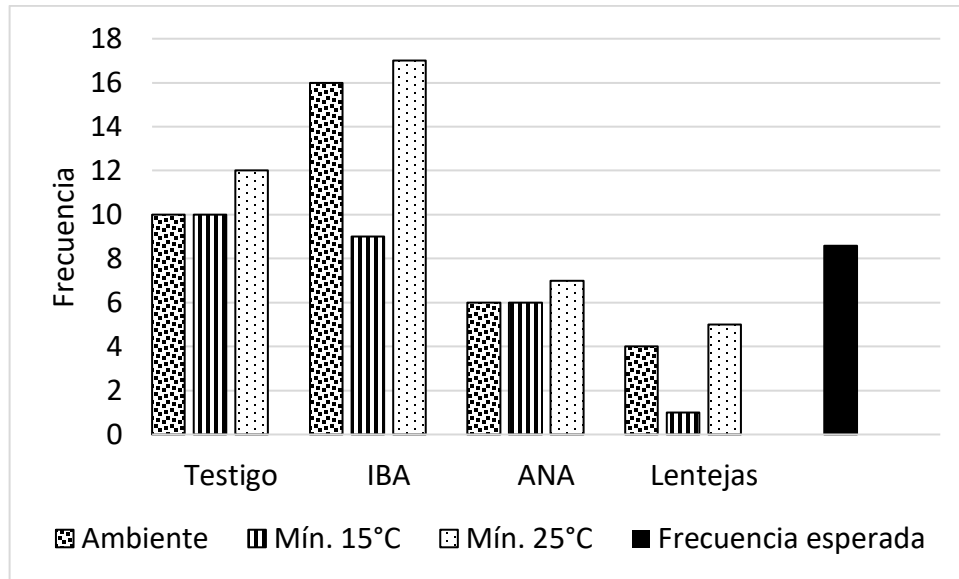


Figura 12: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Presencia de hojas de guayacán por tratamiento

La presencia de hojas posee diferencias entre las frecuencias en el gráfico por tratamiento (figura 12), por lo que existe una asociación (Anexo I.ii). En este caso, los valores más bajos corresponden a los tratamientos con enraizante de lentejas en las tres temperaturas utilizadas, como es de esperar, siendo el más bajo nuevamente el tratamiento una temperatura mínima de 15°C. Además, aquellos tratamientos con ANA poseen muy bajos resultados, muy pocas estacas con hojas vivas presentes al momento del levantamiento. Por otro lado, la mayor frecuencia de estacas con hojas se observa en aquellas tratadas con IBA, siendo el mejor resultado (con casi el doble de lo esperado) aquellas a una temperatura mínima de 25°C, seguida muy de cerca de aquellas a temperatura control. En general la presencia de hojas fue muy baja al final del ensayo, contando solo con un 13,6% de estacas que las presentaron. De ese porcentaje el 40% corresponde a las estacas enraizadas con IBA, por lo que estos tratamientos (T2, T6 y T10) son significativamente diferentes a los demás, mayormente T2 y T10. Además, en la figura 11 se denota que los resultados más altos para todos los enraizantes son aquellos con una temperatura mínima de sustrato de 25°C.

Castrillón (2008) indica que la defoliación se asocia directamente con la falta de enraizamiento, lo cual explicaría el bajo porcentaje de estacas que presentaron hojas al final del ensayo. Además, señala que la presencia de hojas aumenta la pérdida de agua por transpiración, pero estas sirven como una fuente de auxinas endógenas para el enraizamiento. A su vez Gutiérrez (1995) señala que la contribución de las hojas en el enraizamiento es el aporte de fotosintatos a la raíz y la traslocación de carbohidratos.

3.3 Abundancia de hojas

Para esta medida se agruparon en rangos de 5 unidades de amplitud, los datos del número de hojas, ya que para los números mayores existían muy pocas estacas. Se contabilizó el

número de estacas correspondiente a cada rango. Como se observa en el cuadro 15 (Anexo I.iii), la mayor parte de las estacas se encuentran agrupadas en el primer rango, que corresponde a 1 a 5 hojas por estaca.

La prueba de chi-cuadrado para la frecuencia según la temperatura (cuadro 14, Apéndice I.iii), muestra que el valor calculado es menor que el valor de la tabla, por lo que existe independencia entre las variables, o sea, la temperatura no afecta en la abundancia de hojas existente al finalizar el ensayo. Esto se corrobora al observar la tabla de frecuencias (cuadro 13, Apéndice I.iii), los valores esperados son muy similares a los observados. Esto coincide con las otras variables evaluadas, al no depender de la temperatura para el resultado.

Al igual que para la temperatura, la abundancia de hojas ocurre independientemente al enraizante aplicado en las estacas. Esto se puede comprobar al observar la similitud entre las frecuencias observadas y esperadas, en la tabla de contingencia según enraizante (cuadro 15, Anexo I.iii) y por el menor valor del chi-cuadrado calculado que el de la tabla (cuadro 16, Anexo I.iii). La presencia de hojas si se ve condicionada por el enraizante aplicado, pero la abundancia de hojas por estaca es aleatoria.

No existe diferencia significativa entre las frecuencias observadas y las esperadas para los tratamientos aplicados (temperatura x enraizante), lo cual indica que la abundancia de hojas es independiente a estos (cuadro 17, Anexo I.iii). Esto se comprueba con el valor de chi-cuadrado, por ser menor el valor calculado que el de la tabla (cuadro 18, Anexo I.iii)

La mayoría de las estacas posee una abundancia de 1 a 5 hojas, siendo un 81,55% del total.

Gómez y Roselló (1997), indican que altas temperaturas provocan una detención en el crecimiento, en este caso la temperatura más alta (mínima 25°C) es la que posee mayor cantidad de estacas con hojas, por lo que es una temperatura ideal para esta especie, no está por sobre el límite para perjudicar a las estacas en cuanto a la abundancia de hojas. También indican que bajas temperaturas provocan destrucción de los tejidos, lo cual se relaciona con las bajas temperaturas observadas en las noches (figura 4).

Con respecto al enraizante, Tuchan *et al.* (2009) señalan que el uso de enraizantes no presenta efecto en el n° de hojas al final del ensayo, ya que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (testigo y con enraizantes), lo cual coincide con lo observado en este estudio, donde ni la temperatura ni el enraizante utilizado afectan en el resultado final.

3.4 Estado sanitario

El estado sanitario fue medido de forma visual. Las estacas con un estado sanitario malo corresponden a aquellas que se encontraban con estado de pudrición, aquellas con un estado sanitario regular corresponden a las que no presentaron hojas, pero se encontraban sanas (sin pudrición), y aquellas con un estado sanitario bueno corresponden a las que poseían hojas vivas y se encontraban sin pudrición.

3.4.1 Efecto de la temperatura

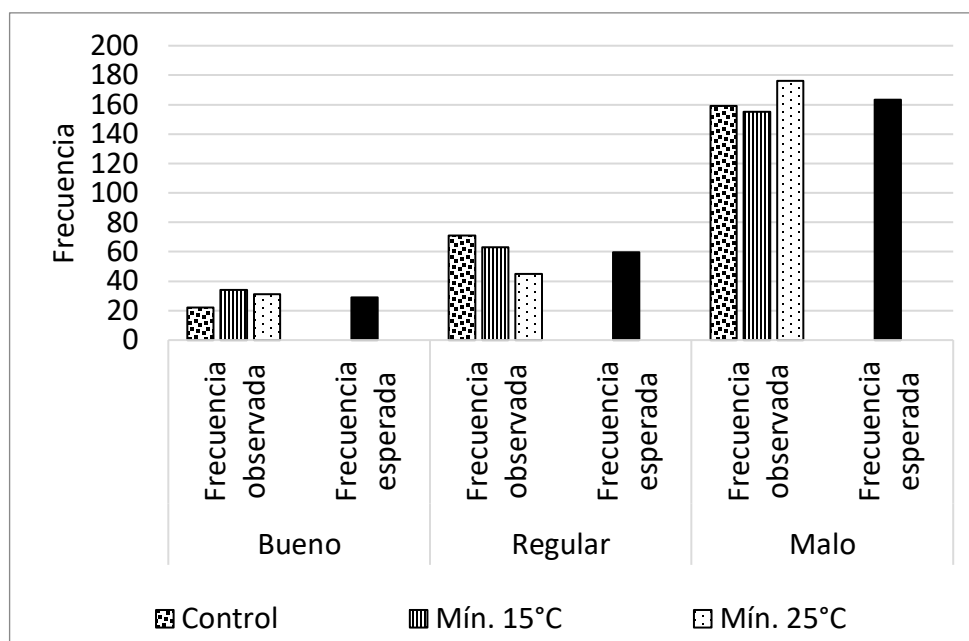


Figura 13: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Estado sanitario de guayacán por temperatura

En el caso de el efecto de la temperatura sobre el estado sanitario, ya sea al mirar las tablas o al comparar los valores de la prueba de chi-cuadrado (cuadro 20, Anexo I.iv), se denota que existe independencia, ya que los valores observados son muy cercanos a los esperados, como se observa en la figura 13, y el valor de chi-cuadrado según los grados de libertad es muy similar al que fue calculado, teniendo como diferencia menos de 1 unidad. Lo cual nos indica que el estado sanitario no varía según la temperatura.

Con respecto al estado sanitario Gómez y Roselló (1997) señalan que altas temperaturas resultan en un estado sanitario malo, ya que pueden provocar la muerte, lo cual coincide con los resultados de este estudio, donde el 64,81% de las estacas poseen un estado sanitario malo, y la temperatura más alta es la que posee un mayor número de estacas en este estado, aunque no posee diferencias significativas con las otras temperaturas (Figura 13).

3.4.2 Efecto de los enraizantes

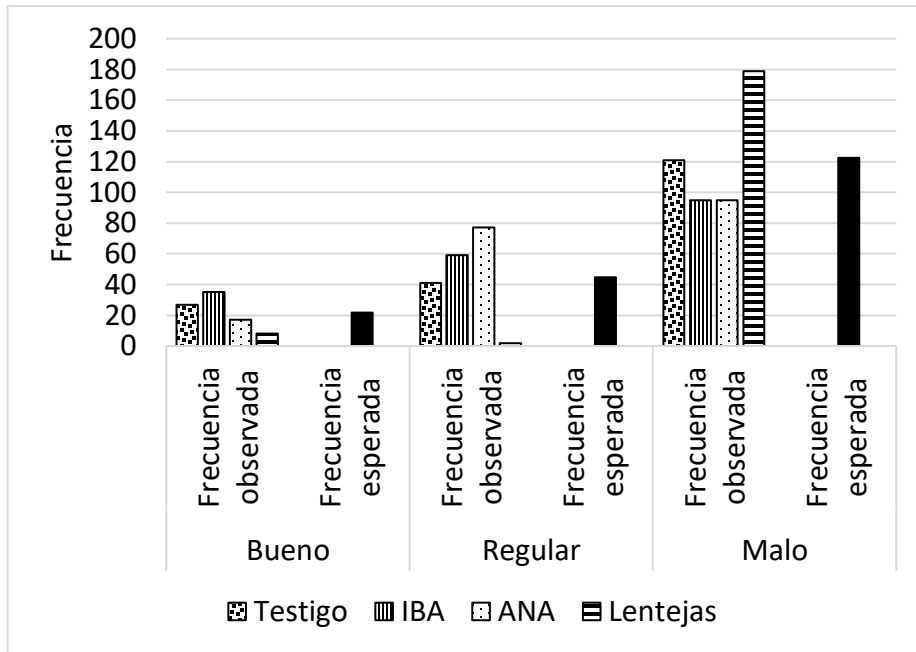


Figura 14: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Estado sanitario de guayacán por enraizante

Para el caso del efecto del enraizante aplicado, ocurre algo similar que con los tratamientos. Son muy pocos los valores de frecuencia observada y esperada que coinciden, lo que indica que los enraizantes inciden en el estado sanitario resultante, esto se corrobora con los valores de la prueba de chi-cuadrado, donde el valor calculado es mayor que el de la tabla por más de 100 unidades (cuadro 22, Anexo I.iv), lo cual anula la hipótesis de independencia e indica que existe asociación entre las variables. Esto podría explicar el hecho de que los tratamientos si afecten en el estado sanitario resultante, ya que son una mezcla del enraizante más la temperatura, pero es solo en enraizante el que posee una asociación con la respuesta de esta variable.

Mendoza (2013), en un estudio donde probó cuatro enraizantes obtuvo un mejor estado sanitario al utilizar ANA, lo cual no coincide con este estudio, ya que IBA supera ANA en número de estacas con buen estado sanitario. Por otro lado, Velásquez (2017) en su estudio para probar la eficacia de diferentes enraizadores no encontró diferencias significativas en el estado sanitario final.

3.4.3 Interacción temperatura y enraizante

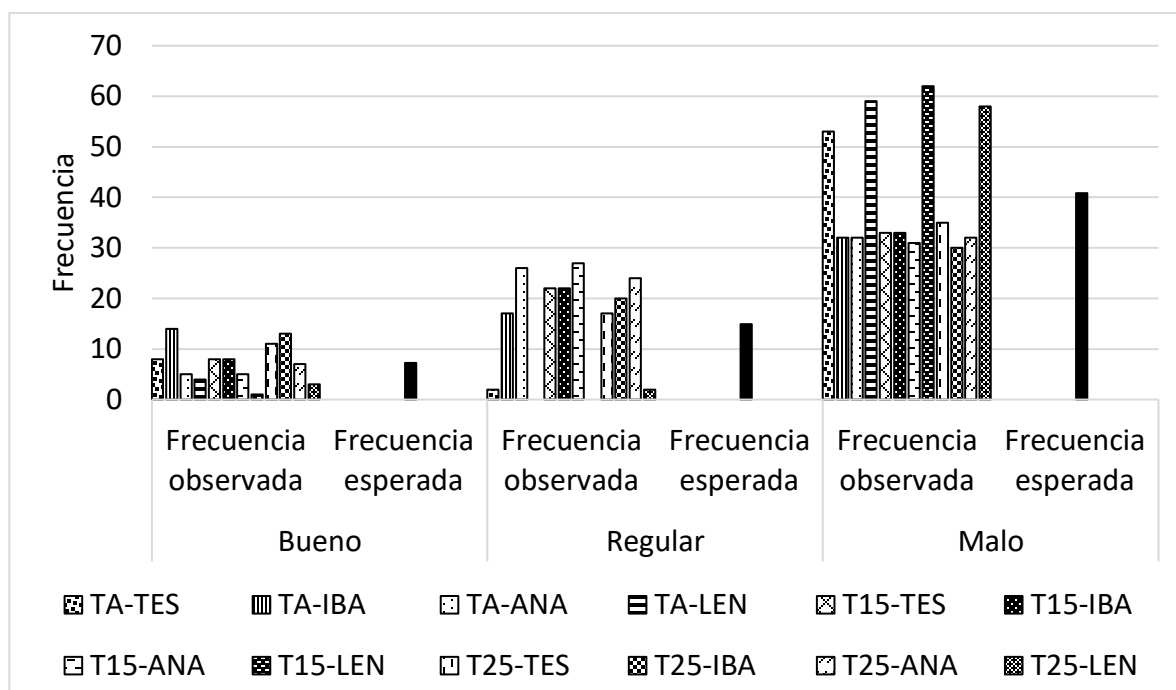


Figura 15: Frecuencia observada y esperada a partir de la tabla de contingencia Estado sanitario de guayacán por tratamiento

Al observar en el gráfico las frecuencias observadas y esperada de la variable de respuesta estado sanitario y compararlas, se observa que hay efecto de los tratamientos (temperatura x enraizante) encontrando diferencia en la mayoría de los valores, o sea que hay muy pocas frecuencias observadas que coinciden con la esperada. Esto se confirma al observar la prueba de chi-cuadrado, donde el valor calculado (153,27) es mayor que el de la tabla (33,92) (cuadro 24, Anexo I.iv).

En general se observa que los resultados más bajos en cuanto al estado sanitario se obtuvieron en los tratamientos con extracto de lentejas, siendo el más bajo aquel con una temperatura mínima de 15°C, aquellos tratamientos con ANA se encuentran en su mayoría bajo el valor esperado, y los tratamientos con IBA y testigo, se encuentran sobre el valor esperado, con valores muy similares para un estado sanitario bueno. Para el estado sanitario regular los que se encuentran bajo el valor esperado siguen siendo los tratamientos con lentejas, pero además se suma el testigo a temperatura control, lo mismo ocurre en el caso de las estacas con un estado sanitario malo (figura 15).

3.5 Número de hojas de guayacán

Como se observa en la figura 16, el número de hojas tiene su valor mínimo en aquellas estacas enraizadas con licuado de lentejas, siendo el valor mas bajo para el tratamiento que se encontraba a temperatura mínima de 15°C

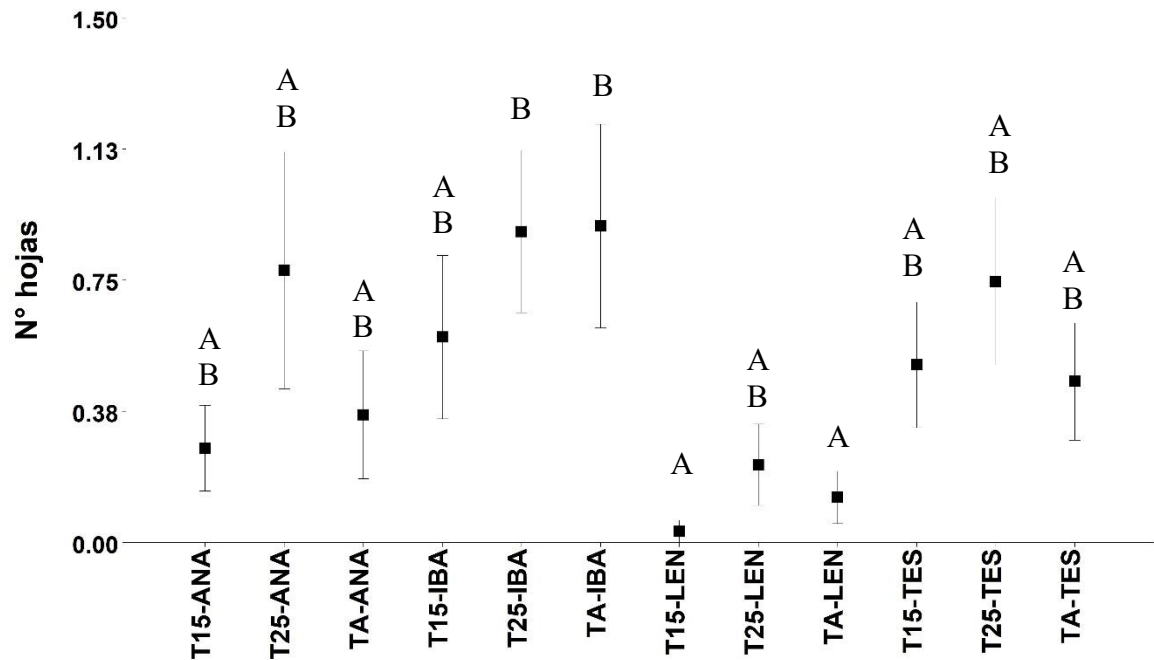


Figura 16: Distribución del número de hojas por tratamiento, abajo se presentan las interacciones entre enraizante y temperatura (que corresponde a los 12 tratamientos), la sigla representa al tratamiento como lo indica el cuadro 2. La barra corresponde al error estándar de la media.

De acuerdo con la prueba de Kruskal – Wallis, se encontró efecto de los tratamientos (temperatura x enraizante), no obstante, la mayoría de los tratamientos son iguales, solo se diferencian aquellos con IBA a temperatura mínima de 25° y ambiente (con los mayores resultados) y los tratamientos con extracto de lentejas a temperatura ambiente y mínima de 15°C (con los resultados más bajos. Figura 16).

Además de aquellas estacas enraizadas con extracto de lentejas, existe otro valor bastante bajo para T15-ANA, que coincide con T25-LEN, lo que se adjudica a que esta temperatura no es la ideal para este enraizante, como lo es T25.

4 CONCLUSIONES

De acuerdo con la estimación de respuestas morfológicas (estado sanitario, presencia de hojas, número de hojas, abundancia de hojas y sobrevivencia), no se observa efecto de las temperaturas de sustrato aplicadas, por lo que el resultado se mantiene independientemente del control de temperatura mínima en las camas de enraizamiento.

Para el caso de los enraizantes utilizados en este estudio, se observan respuestas para la sobrevivencia, presencia de hojas y estado sanitario. En el caso de la sobrevivencia, al utilizar IBA y ANA se obtuvo un resultado mejor que el tratamiento testigo, pero al utilizar el licuado de lentejas la sobrevivencia disminuye. La presencia de hojas aumenta en las estacas enraizadas con IBA, pero al utilizar ANA o licuado de lentejas el resultado disminuye. El estado sanitario fue mejor al utilizar IBA y ANA, por tener un alto número de estacas con un buen y regular estado sanitario. De igual forma que la sobrevivencia, el peor estado sanitario se obtuvo al aplicar licuado de lentejas.

Si bien, las temperaturas utilizadas no generan respuestas significativas por si solas, si interactúan con los enraizantes, haciendo variar la respuesta de los enraizantes por si solos sobre la sobrevivencia, hojas y estado sanitario.

Bajo las condiciones experimentales planteadas no se obtuvo resultados satisfactorios en cuanto al número de estacas enraizadas, lo cual confirma las dificultades de propagación vegetativa de *Porlieria chilensis*. En este estudio solo dos estacas presentan raíces al finalizar las 24 semanas, pero ambas estacas poseen el mismo tratamiento; temperatura de sustrato a 25°C mínimo, y ANA como enraizante. Ambas estacas enraizadas provienen del mismo árbol madre, lo que podría indicar que el origen genético (árbol madre) y/o estado fisiológico serían factores importantes en el proceso y deberían ser estudiados con mayor profundidad.

Se recomienda probar algunos tratamientos silviculturales como podas que permitan promover el rejuvenecimiento del material en el árbol, previos a la colecta de material. Además, se recomienda prolongar el período de ensayo por cuanto es probable que haya resultado insuficiente para expresar la sobrevivencia en enraizamiento de estacas de guayacán.

5 BIBLIOGRAFÍA

- ALDANA, M. 2009. La multiplicación por estaca o enraizamiento de ramilla. Una excelente alternativa para la reproducción asexual o vegetativa del cultivo de cacao. 56p.
- BERNER, K. 2004. Estudio ontogénico del porcentaje de enraizamiento para la especie Ulmo (*Eucryphia cordifolia Cav.*) en ambientes controlados. Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.
- BLAŽKOVÁ, A., SOTTA, B., TRANVAN, H., MALDINEY, R., BONNET, M., EINHORN, J., KERHOAS, L. Y MIGINIAC, E. 1997. Auxin metabolism and rooting in young and mature clones of *Sequoia sempervirens*. *Physiologia Plantarum* 99:, 73-80.
- CABELLO, A., VALDÉS, P., ESCOBAR, D., Y LETELIER, P. 2013. Efecto de la temperatura y de la aplicación de tratamiento pregerminativos sobre la germinación de semillas de *Porlieria chilensis* I.M. Johnst., Guayacán. *Revista chagual* II, 61-71.
- CAJAMARCA, E. 2016. Determinación de la eficiencia de hormonas en la propagación por ramillas de cacao tipo nacional. Trabajo de titulación. Machala: Universidad técnica de Machala. 63p.
- CASTRILLÓN, J., CARVAJAL, E., LIGARRETO, G., Y MAGNITSKIY, S. 2008. El efecto de las auxinas sobre el enraizamiento de las estacas de agraz (*vaccidium meridionale* Swartz) en diferentes sustratos. *Agronomía Colombiana* 26(1): 16-22.
- CHRISTIANSEN, J., Y JORNSGARD, B. 2002. Influence of daylength and temperature on number of main stem leaves and time to flowering in lupin. *Ann. appl. Biol.* 140: 29-35.
- CORREA, L., Y FETT-NETO, A. 2004. Effects of temperature on adventitious root development in microcuttings of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. *J Therm Biol*, 29: 315-324.
- CRUZ, N., MORANTE, J., Y ACOSTA, M. 2008. Propagación vegetativa de fernansánchez (*Triplaris guayaquilensis*) mediante la utilización de hormonas de enraizamiento (ANA y AIB). *Ciencia y tecnología* 1, 7-10.
- DE LA FUENTE, L., LEÓN, P., Y GINOCCHIO, R. 2011. Fitoestabilización de Depositos de Relaves en Chile. *Guía N°5: Propagación de Especies Vegetales Nativas y Endémicas*, 91p.
- ESCOBAR, R. 2007. Manual de Viverización *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. Trama Impresores S.A., 230p.

- GOMEZ, V., Y ELENA, R. 1997. Investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. Cuadernos de la S.E.C.F. (4): 13-25.
- GUTIÉRREZ, B. 1995. Consideraciones sobre la fisiología y el estado de madurez en el enraizamiento de estacas de especies forestales. Ciencia e investigación forestal 9(2): 261-277.
- HECHENLEITNER, V., GARDNER, M., THOMAS, P., ECHEVERRIA, C., ESCOBAR, B., BROWNLESS, P., Y MARTÍNEZ, C. 2005. Plantas amenazadas del centro-sur de Chile Distribución, conservación y propagación. Universidad Austral de Chile y real Jardín Botánico de Edimburgo. 188p.
- LARCHER, W. 2000. Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. Plant biosystems 134(3): 279-295.
- LATSAGUE, M., SÁEZ, P., Y HAUENSTEIN, E. 2008Y. Inducción de enraizamiento en estacas de *Berberidopsis corallina* con ácido indolbutírico. Bosque 29(3), 227-230.
- LUEBERT, F., Y PLISCOFF, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago: Editorial Universitaria.
- MANSILLA, A. 2004. Propagación vegetativa mediante estaquillado en especies nativas de los generos *Mutisia*, *Escallonia* y *Gaultheria*, como potenciales cultivos ornamentales. Tesis de licenciado en Agronomía. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias., 69p.
- MENDOZA, B. 2013. Evaluación de la eficacia de cuatro enraizadores y dos tamaños de estacas en la propagación de Naranjilla (*Solanum quitoense*) híbrido puyo, en vivero en el cantón san miguel de los bancos, provincia de pichincha. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Riobamba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales Escuela de Ingeniería Agronómica. 90p.
- MMA, Y SEA. 2014. Guía para la compensación de biodiversidad en el SEIA. 40p.
- MUÑOZ, M., Y SERRA, M. 2006. Documento de Trabajo. Estado de Conservación de las Plantas de Chile. MNHN-CONAMA. 6p.
- OSORIO, P. 2009. Efecto de la época de cosecha, el tipo de estaca y la aplicación de fitohormonas en la propagación vegetativa de *Proustia cuneifolia* D. DON. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 67p.
- OTAHOLA, V., Y VIDAL, G. 2010. Efecto de las características de la estaca y la utilización de ANA en la propagación de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). Revista científica UDO agrícola 10(1): 29-35.

- OVANDO, G., ENCISO, M., OVELAR, G., Y VILLALBA, N. 2007. Propagación vegetativa de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo (lapacho negro), mediante esquejes de raíz. *Investigación Agraria* 9(1), 73-79.
- PACHECO, S. 2007. Optimización en la técnica de propagación de *Olea europea* L. en variedades de difícil enraizamiento cv. empeltre, santa catarina y picual. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Quillota. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso., 68p.
- PIJUT, P., WOESTE, K., Y MICHLER, C. 2011. Promotion of Adventitious Root Formation of Difficult-to-Root Hardwood Tree Species. *Horticultural*, 38, 213-251.
- QUIÑONES, M. 2014. Uso de la Fibra de coco como sustrato en la producción de Pascua (*Euphorbia pulcherrima*; Wild. Ex Klotsch) para exportación. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Escuintla, Universidad Rafael Landívar, 53p.
- QUISPE, L. 2018. Efecto de las hormonas de enraizamiento en esquejes de álamo (*Populus deltoides*) bajo riego por capilaridad. *Aptaphi* 4(1): 1009-1020.
- RALLO, M., GONZÁLEZ, J., ULLOA, I., Y ORELL, M. 2007. Características macro y microscópicas del guayacán. *Ciencia y Tecnología*, 9(1), 71-78.
- RAMOS, L., CRUZ, N., MORANTE, J., Y VILLACÍS, O. 2006. Empleo de hormonas (ANA y AIB) estimuladoras del enraizamiento para la propagación vegetativa de *Chlorophora tinctoria* (L) Gaud (moral fino) en el litoral ecuatoriano. *Foresta Veracruzana* 8(1): 9-12.
- RODRIGUEZ, R., MATTHEI, O., Y QUEZADA, M. 1983. Flora Arbórea de Chile. Concepción: Editorial de la Universidad de Concepción.
- SALDÍAS, G. 2016. Propagación vegetativa por esquejes de *Monttea chilensis* Gay. *Gayana Bot.* 73(1): 25-31.
- SISARO, D., Y HAGIWARA, J. 2016. Propagación vegetativa por medio de estacas de tallo. Hurlingam, 16p.
- SOTO, P. 2004. Reproducción vegetativa por estacas en *Amomyrtus luma* (Luma), *Amomyrtus meli* (Meli) y *Luma apiculata* (Arrayán) mediante el uso de plantas madres jóvenes y adultas. Trabajo de titulación para optar al Título de Ingeniero Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, 64p.
- TAPIA, C. 2003. Propagación. . Manual del cultivo del olivo, 41-48.
- TUCHÁN, J. 2009. Efecto de cuatro enraizantes comerciales en plántulas de Piñón (*Jatropha curcas* L.) bajo condiciones naturales y de invernadero. Proyecto especial para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Honduras. 14p.

- UZUN, S. 2006. The quantitative effects of temperature and light on the number of leaves preceding the first fruiting inflorescence on the stem of tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) and aubergine (*Solanum melongena* L.). *Scientia horticultrurae* 109: 142-146.
- VÁZQUEZ, C., OROZCO , A., ROJAS, M., SÁNCHEZ, M., Y CERVANTES, V. 1997. La Reproducción de las Plantas: Semillas y Meristemos. México: Fondo de Cultura Económica. 120p.
- VELÁSQUEZ, V. 2017. Eficacia de enraizadores bajo dos sistemas de propagación para la clonación de genotipos de alta productividad de Café Robusta (*Coffea canephora*), en Babahoyo, Provincia de los Ríos. Trabajo de Titulación de Ingeniera Agrónoma. Babahoyo, Universidad técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 52p.
- VIGNOLIO, O., MACEIRA, N., Y FERNÁNDEZ, O. 1994. Efectos del anegamiento en invierno y verano sobre el crecimiento y la supervivencia de *Lotus tenuis* y *Lotus corniculatus*. *Ecología Austral* (4): 19-28.
- VITA, A., LUNA, G., Y DIAZ, P. 2008. Silvicultura, manejo y utilización del guayacán. Manual. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Ministerio de agricultura. FIA . Santiago. 57p y apéndice.
- VITA, A., VALENZUELA, M., Y VARELA, S. 2007. Ensayos de recuperación de formaciones naturales de guayacán (*Porlieria chilensis* John) en la zona árida de Chile. *Ciencia e Investigación forestal*, 137-152.

6 ANEXOS

Anexo I. Tablas de contingencia

Para realizar una tabla de contingencia lo primero es elaborar un cuadro con dos variables, una ubicada en la columna izquierda, y la otra en la fila superior, cada una con sus respectivos valores. En cada cuadro se anotó el número de casos de cada una de las combinaciones. Adicionalmente se calcularon los totales horizontales en el lado derecho, y verticales en la parte inferior, las cuales se denominan frecuencias marginales (Galbiati, 2017).

En el extremo inferior derecho se muestra el total de casos (N), que corresponde a la suma de las frecuencias marginales columna, o a la suma de las frecuencias fila, que son iguales.

Luego de tener construida la tabla de contingencia (también conocida como tabla de frecuencias observadas), se hizo una tabla igual, pero con las frecuencias esperadas, que corresponde a las frecuencias que habría en caso de que las variables fuesen independientes. Para la realización de esta tabla se utiliza la siguiente formula:

$$e_{ij} = \frac{(\text{frecuencia marginal fila } i) \times (\text{frecuencia marginal columna } j)}{\text{Total de observaciones}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

e_{ij} es la frecuencia esperada de la fila i y la columna j

Con estas dos tablas construidas se procedió a examinar la similitud entre ellas. Si son parecidas quiere decir que las variables son independientes, por el contrario, si estas tablas difieren, significa que hay asociación entre la variable fila y columna.

Para tener un resultado más certero que solo la observación de los valores de la tabla, con el fin de medir la asociación o independencia, se utilizó el estadístico chi-cuadrado (χ^2), que se calcula de la siguiente manera:

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j \frac{o_{ij}^2}{e_{ij}} - N \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

o_{ij} es la frecuencia observada de la casilla i,j (fila i , columna j)

e_{ij} es la frecuencia esperada de la casilla i,j

N es el total de observaciones

Anexo II. Tabla Chi-cuadrado con nivel de significación de 0,05

Para obtener el valor de la tabla se calculan los grados de libertad, que es el producto de (número de filas – 1) * (número de columnas – 1). El valor resultante se ubica en la fila correspondiente de la tabla chi-cuadrado que se encuentra a continuación.

Grados de libertad	chi-cuadrado	Grados de libertad	chi-cuadrado	Grados de libertad	chi-cuadrado
1	3,841	11	19,68	21	32,67
2	5,992	12	21,03	22	33,92
3	7,815	13	22,36	23	35,17
4	9,488	14	23,68	24	36,42
5	11,07	15	25	25	37,65
6	12,59	16	26,3	26	38,89
7	14,07	17	27,59	27	40,11
8	15,51	18	28,87	28	41,34
9	16,92	19	30,14	29	42,56
10	18,31	20	31,41	30	43,77

7 APÉNDICE

Apéndice I. Tablas de contingencia

I.i Sobrevivencia

Cuadro 1. Tabla de contingencia (frecuencia observada) y frecuencia esperada de sobrevivencia de guayacán por temperatura

		Sobrevivencia				Total	
		Vivas		Muertas			
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Temperatura	Control	76	88,7	176	163,3	252	252
	15°C	93	88,7	159	163,3	252	252
	25°C	97	88,7	155	163,3	252	252
	Total	266	266	490	490	756	756

Cuadro 2. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por temperatura

Chi 2	4,33
grados libertad	2
valor tabla	5,99

Cuadro 3. Tabla de frecuencia observada y esperada de sobrevivencia de guayacán por enraizante

		Sobrevivencia				Total	
		Vivas		Muertas			
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Enraizante	Testigo	68	66,5	121	122,5	189	189
	IBA	94	66,5	95	122,5	189	189
	ANA	94	66,5	95	122,5	189	189
	Lentejas	10	66,5	179	122,5	189	189
	Total	266	266	490	490	756	756

Cuadro 4. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por enraizante

Chi 2	109,21
grados libertad	3
valor tabla	7,82

Cuadro 5. Tabla de frecuencia observada y esperada de sobrevivencia de guayacán por tratamiento

		Sobrevivencia					
		Vivas		Muertas		Total	
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Tratamiento	TA-TES	10	22,2	53	40,8	63	63
	TA-IBA	31	22,2	32	40,8	63	63
	TA-ANA	31	22,2	32	40,8	63	63
	TA-LEN	4	22,2	59	40,8	63	63
	T15-TES	30	22,2	33	40,8	63	63
	T15-IBA	30	22,2	33	40,8	63	63
	T15-ANA	32	22,2	31	40,8	63	63
	T15-LEN	1	22,2	62	40,8	63	63
	T25-TES	28	22,2	35	40,8	63	63
	T25-IBA	33	22,2	30	40,8	63	63
	T25-ANA	31	22,2	32	40,8	63	63
	T25-LEN	5	22,2	58	40,8	63	63
	Total	266	266	490	490	756	756

Cuadro 6. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por tratamiento

Chi 2	128,15
grados libertad	11
valor tabla	19,68

I.ii Presencia de hojas

Cuadro 7. Tabla de frecuencia observada y esperada para presencia de hojas de guayacán por temperatura

		Presencia hojas				Total	
		Presenta		No presenta		F. obs	F. esp
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp		
Temperatura	Control	36	34,3	216	217,7	252	252
	Mín. 15°C	26	34,3	226	217,7	252	252
	Mín. 25°C	41	34,3	211	217,7	252	252
	Total	103	103	653	653	756	756

Cuadro 8. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por temperatura

Chi 2	3,93
grados libertad	2
valor tabla	5,99

Cuadro 9. Tabla de frecuencia observada y esperada para presencia de hojas de guayacán por enraizante

		Presencia hojas				Total	
		Presenta		No presenta			
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Enraizante	Testigo	32	25,8	157	163,3	189	189
	IBA	42	25,8	147	163,3	189	189
	ANA	19	25,8	170	163,3	189	189
	Lentejas	10	25,8	179	163,3	189	189
	Total	103	103	653	653	756	756

Cuadro 10. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por enraizante

Chi 2	26,83
grados libertad	3
valor tabla	7,815

Cuadro 11. Tabla de frecuencia observada y esperada para presencia de hojas de guayacán por tratamiento

		Presencia hojas				Total	
		Presenta		No presenta			
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Tratamiento	TA-TES	10	8,6	53	54,4	63	63
	TA-IBA	16	8,6	47	54,4	63	63
	TA-ANA	6	8,6	57	54,4	63	63
	TA-LEN	4	8,6	59	54,4	63	63
	T15-TES	10	8,6	53	54,4	63	63
	T15-IBA	9	8,6	54	54,4	63	63
	T15-ANA	6	8,6	57	54,4	63	63
	T15-LEN	1	8,6	62	54,4	63	63
	T25-TES	12	8,6	51	54,4	63	63
	T25-IBA	17	8,6	46	54,4	63	63
	T25-ANA	7	8,6	56	54,4	63	63
	T25-LEN	5	8,6	58	54,4	63	63
	Total	103	103	653	653	756	756

Cuadro 12. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por tratamiento

Chi 2	33,57
grados libertad	11
valor tabla	19,68

I.iii Abundancia de hojas

Cuadro 13. Tabla de frecuencia observada y esperada abundancia de hojas de guayacán por temperatura

		Abundancia hojas						Total	
		1 a 5		6 a 10		11 a 16			
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Temperatura	Control	31	29,4	4	5,2	1	1,4	36	36
	Mín.								
	15°C	23	21,2	2	3,8	1	1,0	26	26
	Mín.								
	25°C	30	33,4	9	6,0	2	1,6	41	41
	Total	84	84	15	15	4	4	103	103

Cuadro 14. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por temperatura

Chi 2	3,49
grados libertad	4
valor tabla	9,49

Cuadro 15. Tabla de frecuencia observada y esperada abundancia de hojas de guayacán por enraizante

		Abundancia hojas						Total	
		1 a 5		6 a 10		11 a 16			
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Enraizante	Testigo	26	26,1	6	4,7	0	1,2	32	32
	IBA	36	34,3	4	6,1	2	1,6	42	42
	ANA	13	15,5	4	2,8	2	0,7	19	19
	Lentejas	9	8,2	1	1,5	0	0,4	10	10
	Total	84	84	15	15	4	4	103	103

Cuadro 16. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por enraizante

Chi 2	6,26
grados libertad	6
valor tabla	12,59

Cuadro 17. Tabla de frecuencia observada y esperada abundancia de hojas de guayacán por tratamiento

		Abundancia hojas						Total	
		1 a 5		6 a 10		11 a 16			
		F.obs	F.esp	F.obs	F.esp	F.obs	F.esp	F.obs	F.esp
Tratamiento	TA-TES	8	8,2	2	1,5	0	0,4	10	10
	TA-IBA	14	13,0	1	2,3	1	0,6	16	16
	TA-ANA	5	4,9	1	0,9	0	0,2	6	6
	TA-LEN	4	3,3	0	0,6	0	0,2	4	4
	T15-TES	9	8,2	1	1,5	0	0,4	10	10
	T15-IBA	8	7,3	0	1,3	1	0,3	9	9
	T15-ANA	5	4,9	1	0,9	0	0,2	6	6
	T15-LEN	1	0,8	0	0,1	0	0,0	1	1
	T25-TES	9	9,8	3	1,7	0	0,5	12	12
	T25-IBA	14	13,9	3	2,5	0	0,7	17	17
	T25-ANA	3	5,7	2	1,0	2	0,3	7	7
	T25-LEN	4	4,1	1	0,7	0	0,2	5	5
		Total	84	84	15	15	4	4	103

Cuadro 18. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por tratamiento

Chi 2	22,20
grados libertad	22
valor tabla	33,92

I.iv Estado sanitario

Cuadro 19. Tabla de frecuencia observada y esperada estado sanitario de guayacán por temperatura

		Estado sanitario						Total	
		Bueno		Regular		Malo			
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Temperatura	Control	22	29	71	59,7	159	163,3	252	252
	Mín. 15°C	34	29	63	59,7	155	163,3	252	252
	Mín. 25°C	31	29	45	59,7	176	163,3	252	252
	Total	87	87	179	179	490	490	756	756
		11,51		23,68		64,81			

Cuadro 20. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por temperatura

Chi 2	10,16
grados libertad	4
valor tabla	9,49

Cuadro 21. Tabla de frecuencia observada y esperada estado sanitario de guayacán por enraizante

		Bueno		Regular		Malo		Total	
		F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp	F. obs	F. esp
Enraizante	Testigo	27	21,75	41	44,75	121	122,5	189	189
	IBA	35	21,75	59	44,75	95	122,5	189	189
	ANA	17	21,75	77	44,75	95	122,5	189	189
	Lentejas	8	21,75	2	44,75	179	122,5	189	189
	Total	87	87	179	179	490	490	756	756

Cuadro 22. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por enraizante

Chi 2	126,43
grados libertad	6
valor tabla	12,59

Cuadro 23. Tabla de frecuencia observada y esperada estado sanitario de guayacán por tratamiento

		Estado sanitario							
		Bueno		Regular		Malo		Total	
		F.obs	F.esp	F.obs	F.esp	F.obs	F.esp	F.obs	F.esp
Tratamiento	TA-TES	8	7,25	2	14,9	53	40,8	63	63
	TA-IBA	14	7,25	17	14,9	32	40,8	63	63
	TA-ANA	5	7,25	26	14,9	32	40,8	63	63
	TA-LEN	4	7,25	0	14,9	59	40,8	63	63
	T15-TES	8	7,25	22	14,9	33	40,8	63	63
	T15-IBA	8	7,25	22	14,9	33	40,8	63	63
	T15-ANA	5	7,25	27	14,9	31	40,8	63	63
	T15-LEN	1	7,25	0	14,9	62	40,8	63	63
	T25-TES	11	7,25	17	14,9	35	40,8	63	63
	T25-IBA	13	7,25	20	14,9	30	40,8	63	63
	T25-ANA	7	7,25	24	14,9	32	40,8	63	63
	T25-LEN	3	7,25	2	14,9	58	40,8	63	63
	Total	87	87	179	179	490	490	756	756

Cuadro 24. Valor chi-cuadrado calculado y según grados de libertad por tratamiento

Chi- cuadrado	153,27
grados libertad	22
valor tabla	33,92