

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EFFECTOS DE LA TEMPERATURA Y DEL ÁCIDO NAFTALENACÉTICO
SOBRE LA FORMACIÓN DE RAÍCES ADVENTICIAS EN ESTACAS DE
Chuquiraga oppositifolia D. DON.**

NICOLE ELIZABETH ROJAS VALDÉS

Santiago, Chile

2019

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EFFECTOS DE LA TEMPERATURA Y DEL ÁCIDO NAFTALENACÉTICO
SOBRE LA FORMACIÓN DE RAÍCES ADVENTICIAS EN ESTACAS DE
Chuquiraga oppositifolia D. DON.**

**EFFECTS OF TEMPERATURE AND NAFTALENACETIC ACID ON THE
FORMATION OF ADVENTITIOUS ROOTS IN STAKES OF *Chuquiraga
oppositifolia* D. DON.**

NICOLE ELIZABETH ROJAS VALDÉS

Santiago, Chile

2019

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EFFECTOS DE LA TEMPERATURA Y DEL ÁCIDO NAFTALENACÉTICO
SOBRE LA FORMACIÓN DE RAÍCES ADVENTICIAS EN ESTACAS DE
Chuquiraga oppositifolia D. DON.**

Memoria para optar al Título Profesional de
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

NICOLE ELIZABETH ROJAS VALDÉS

| Profesores Guías | Calificaciones |
|--|----------------|
| Sr. Gerardo Soto M. Ingeniero Forestal, M. Sc, Ph. D. | 7,0 |
| Sr. Eduardo Martínez H. Ingeniero Forestal, Dr. | 7,0 |
| Profesores Evaluadores | |
| Sr. Manuel Paneque C. Bioquímico, Dr. | 6,5 |
| Sra. Erika Kania K. Ingeniero Agrónomo, Dr. | 5,5 |

Santiago, Chile

2019

AGRADECIMIENTOS

Después de muchos años (más de los que hubiera querido), este ciclo al fin llega a su fin. En esta eterna travesía por la universidad, conocí un montón de gente, sin embargo, unos pocos quedaron, y se convirtieron en verdaderos amigos, de esos incondicionales, que no importa cuánto tiempo pasemos sin hablar, la amistad siempre permanecerá. Mi amiguita Elizabeth Lagos y amigazo Rubén Moreno, los quiero con el alma.

Entre medio de todo el caos universitario, nació mi razón de ser, mi Sofía, que tuvo que apearar conmigo desde chiquitita, acompañándome a la U; en verano, luciendo sus hermosos y adorados vestidos, y en invierno, más abrigada que hija única!. Tú eres mi mayor motivación en esta vida. Te amo bebé.

Pero nada de esto hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de mi familia: Jorge, Marcelo, Andrés y en especial, mi mamá, Sandra, que desde pequeña siempre me enseñó a ser independiente, a buscar y conseguir mis sueños, gracias por la educación que con mucho esfuerzo me diste. A mi pareja, amigo y compañero de vida, Elías, gracias por tu eterna paciencia y motivación en todo momento, por el amor que me das y porque decidiste acompañarme a una nueva aventura, más allá de lo que jamás hubiéramos imaginado.

Agradecer a mis profesores guías, Gerardo Soto y Eduardo Martínez, gracias por su constante apoyo y seguimiento, y porque siempre se dieron el tiempo de atenderme.

A todo el equipo CESAF que me acogió estos últimos cuatro años, a Iván Grez, Carlos Magni, Suraj Vaswani, Betsabé Abarca y Nicole Toro. Siento que durante todo este periodo crecí mucho, no sólo como profesional, sino que también en el ámbito personal, gracias por su confianza y aportes en esta memoria de título.

Al equipo del laboratorio, María Julia y José Olmedo, y a muchos más, estudiantes que pasan día a día, ayudando en las tareas de CESAF, a Paula González y Lilian Saavedra. A Diego Villalobos, que siempre estuvo ahí, ayudando con mi nulo inglés.

Finalmente, a mi amada gata, mi fiel compañera Mya Amelia, que, a pesar de ser bien odiosa, me alegra los días y me llena el alma, a todos ustedes, ¡infinitas gracias!.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| LISTADO DE ACRÓNIMOS..... | 1 |
| LISTADO DE ABREVIATURAS | 2 |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| HIPÓTESIS..... | 4 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 4 |
| Marco teórico..... | 5 |
| Descripción de la especie | 5 |
| Uso de auxinas en la formación de raíces adventicias..... | 6 |
| Temperatura en la formación de raíces adventicias..... | 6 |
| Fibra de Coco como sustrato..... | 7 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 9 |
| Área de estudio | 9 |
| Material vegetativo | 9 |
| Sustrato..... | 9 |
| Contenedores | 9 |
| Enraizante..... | 10 |
| Temperatura..... | 10 |
| Metodología | 10 |
| Cosecha | 10 |
| Conservación de las estacas | 11 |
| Instalación del ensayo | 11 |
| Diseño experimental | 12 |
| Mantenimiento..... | 14 |
| Extracción y mediciones | 14 |
| Análisis estadístico | 14 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 16 |
| Sobrevivencia, presencia de hoja y callo..... | 16 |
| Sobrevivencia | 16 |

| | |
|--|-----------|
| Presencia de hoja | 16 |
| Formación de callo..... | 16 |
| Efecto Auxina (ANA) sobre la sobrevivencia y presencia de hojas..... | 17 |
| Efecto Temperatura sobre la sobrevivencia y presencia de hojas | 17 |
| Inducción de raíces | 19 |
| Efecto del ANA sobre la inducción de raíces..... | 19 |
| Efecto de la temperatura sobre la inducción de raíces | 20 |
| CONCLUSIONES | 26 |
| BIBLIOGRAFÍA | 27 |
| ANEXOS..... | 30 |
| I. Presencia de hojas, sobrevivencia, enraizamiento promedio (%) y error estándar por tratamiento..... | 30 |
| II. Presencia y estado de hojas promedio (%) versus estacas enraizadas y error estándar por tratamiento..... | 31 |
| APÉNDICES | 32 |
| I. Análisis de la varianza: Sobrevivencia | 32 |
| II. Análisis de la varianza: Presencia de hojas | 33 |
| III. Análisis de la varianza: Inducción de raíces..... | 34 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Tratamientos con las combinaciones de T° y enraizante | 12 |
| Cuadro 2. Información colectada en el ensayo de propagación | 14 |
| Cuadro 3. Efecto auxina (ANA) sobre la sobrevivencia y la presencia de hojas en las estacas | 17 |
| Cuadro 4. Efecto de la temperatura sobre la sobrevivencia y la presencia de hojas en las estacas | 18 |
| Cuadro 5. Efecto del ácido naftalenacético sobre el enraizamiento de estacas..... | 19 |
| Cuadro 6. Efecto de la temperatura sobre el enraizamiento de estacas. | 20 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Cosecha de material vegetativo de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> D. Don | 11 |
| Figura 2. Instalación del ensayo de propagación vegetativa de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> . | 12 |
| Figura 3. Distribución de las estacas en los mesones (3 mesones por temperatura). | 13 |
| Figura 4. Resultados promedio de Sobrevivencia y presencia de hojas, por tratamiento. | 19 |
| Figura 5. Resultados promedio de inducción de raíces por tratamiento. | 21 |
| Figura 6. Estacas <i>Chuquiraga oppositifolia</i> enraizadas. Izquierda: Tratamiento testigo. Derecha: Tratamiento Keri Root. | 21 |
| Figura 7. Estacas <i>Chuquiraga oppositifolia</i> enraizadas. Izquierda: Tratamiento testigo. Derecha: Tratamiento Keri Root. | 22 |
| Figura 8. Estacas activas en la parte aérea sin formación de raíces o callo. | 23 |
| Figura 9. Estacas con hojas secas con formación de raíces. | 23 |
| Figura 10. Presencia de raíces muertas, en estacas de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> | 24 |
| Figura 11. Resultados promedio de presencia y estado de hojas v/s estacas enraizadas por tratamiento. | 24 |

LISTADO DE ACRÓNIMOS

ANA: Ácido Naftalenacético

CESAF: Centro de Semillas y Árboles Forestales

CFCN: Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile

IBA: Ácido Indolbutírico

LISTADO DE ABREVIATURAS

°C: Grados Celsius

cm: Centímetro

cm³: Centímetro Cúbico

gxL⁻¹: Gramo por litro de agua

T°: Temperatura

m: Metro

m²: Metro cuadrado

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar

ppm: Partes por millón

WP: polvo mojable

RESUMEN

En la actualidad, el desconocimiento fenológico de especies que habitan áreas altoandinas, la baja viabilidad de sus semillas, y su difícil propagación por semilla hacen necesaria la búsqueda de nuevas formas de reproducción: una de estas es la propagación vegetativa por estacas. Al respecto, para la especie *Chuquiraga oppositifolia*, no existen mayores antecedentes respecto de su dinámica regenerativa, y la viabilidad de sus semillas, cuando logra colectarse, no supera el 10% analizada en laboratorio. Se realizó un ensayo con un diseño de parcelas divididas, evaluando los efectos de la hormona enraizante ácido naftalenacético a tres temperaturas mínimas de sustrato: ambiente, 20 y 25°C, en un sustrato estéril de fibra de coco hidratada. La recolección de estacas se realizó durante el mes de mayo de 2018, de árboles provenientes de la Precordillera de la Región Metropolitana, en la comuna de San José de Maipo. Al cabo de ocho meses se realizó la evaluación del estudio, registrando el valor de los parámetros: sobrevivencia, presencia de hojas, presencia de callo e inducción de raíces. A todos ellos se les realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y el test LSD de Fischer. Los resultados revelaron una sobrevivencia del 15,1%, presencia de hojas en un 10,71% de las estacas, y un enraizamiento del 13,6%. No hubo formación de callos. No se apreció un efecto del enraizante utilizado, aunque si hubo diferencias significativas en la temperatura, resaltando la temperatura ambiente sobre la temperatura a 20 y a 25°C. De estas dos últimas pareciera que 25° es una temperatura muy alta que afecta la formación y el desarrollo de raíces. Según estos resultados, el mejor tratamiento de enraizamiento para *Chuquiraga oppositifolia* sería a temperatura ambiente, y sin tratamiento hormonal, si se consideran costos de producción. Debido al bajo porcentaje de enraizamiento obtenido con la metodología planteada, sería muy interesante, evaluar el enraizamiento de estacas de esta especie probando otros reguladores de crecimiento (hormonas), en distintas concentraciones.

Palabras claves: *Chuquiraga oppositifolia*, propagación de plantas, enraizamiento de estacas, ácido naftalenacético, temperatura.

ABSTRACT

At present, due to phenological lack of knowledge of certain species that inhabit high Andean areas, the low viability of its seeds and its difficult propagation by seed makes necessary the search for new forms of propagation, one of these is the vegetative propagation by stakes. The *Chuquiraga oppositifolia* species lives mainly between 1500 and 2500 m.a.s.l., in cold conditions in the high parts of the mountains. In addition, there is no greater background regarding its regenerative dynamics, and as for the viability of its seeds, when it is collected, it does not exceed 10%, analyzed in laboratory. An assay was carried out with a design of divided plots, evaluating the effects of the rooting hormone naphthalene acetic acid at three minimum substrate temperatures: room, 20 and 25 ° C, on a sterile substrate of hydrated coconut fiber. The collection of stakes was carried out during the month of May 2018, of trees from the Precordillera of the Metropolitan Region, in the commune of San José de Maipo. After six months, the study evaluation was carried out, recording the value of the parameters: survival, presence of leaves, presence of callus and root induction. All of them were tested for variance (ANDEVA) and Fischer's LSD test. The results revealed a survival of 15.1%, presence of leaves in 10.71% of the stakes, and a rooting of 13.6%. There was no callus formation. There was no effect of the rooting used, although there were significant differences in temperature, highlighting the room temperature over the temperature at 20 and 25 ° C, of these last two it seems that 25 ° is a very high temperature that affects the formation and development of estate. According to these results, the best rooting treatment for *Chuquiraga oppositifolia* would be at room temperature, and without hormonal treatment, if production costs are considered. Due to the low rooting percentage obtained with the proposed methodology, it would be very interesting to evaluate the rooting of stakes of this species by testing other growth regulators (hormones), in different concentrations.

Key words: *Chuquiraga oppositifolia*, plant propagation, stake rooting, naphthalene acetic acid, temperature.

INTRODUCCIÓN

Los ambientes de alta montaña o alto andinos, se desarrollan por sobre el límite altitudinal arbóreo, caracterizándose por contener arbustos bajos, espinosos y hierbas de vida efímera, adaptados a condiciones ambientales extremas (Castor, 2002). Éstos alcanzan su pleno desarrollo durante los meses de verano, cuando se ha derretido la capa de nieve invernal (Castor, 2002; Luebert y Pliscoff, 2006). Debido a la gran amplitud altitudinal en que se desarrolla este tipo de vegetación en la cordillera de los Andes de Chile central (sobre los 2000 y hasta los 3.700-3.900 m.s.n.m.), es posible distinguir diferentes pisos vegetacionales a lo largo del gradiente altitudinal, que se diferencian por la dominancia de distintas especies y formas de vida (Arroyo *et al.*, 1981; Cavieres *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2000; Luebert y Pliscoff, 2006). Sin embargo, en la Cordillera de la Costa, al contar con un gradiente de altitudes mucho más restringido (2.334 m.s.n.m.), se desarrolla sólo un piso de vegetación altoandina (Villagrán *et al.*, 1983; Cavieres *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 2000).

El género *Chuquiraga* contiene 19 especies de arbustos xeromorfos, especialmente adaptados a ambientes de déficit hídrico, exclusivos del estrato andino patagónico (Ezcurra, 1985). Es exclusivamente austroamericano, habita desde Colombia, en casi toda la Patagonia Argentina, las provincias de Mendoza y Neuquén, hasta el centro de Chile entre la Región de Coquimbo y Maule (Marambio y Trivelli, 2013), presentándose en el paisaje en forma de cojines achaparrados (Ezcurra, 1985).

Chuquiraga oppositifolia o hierba blanca, es un arbusto endémico (Ezcurra, 1985). Pertenece al orden Asterales y familia Asteraceae y habita principalmente entre los 1500 y 2500 m.s.n.m., en condiciones frías en las partes altas de las montañas, donde muchas veces se hace dominante en el paisaje, cubriendo extensiones de laderas y quebradas (Ezcurra, 1985; Muñoz *et al.*, 2000).

Respecto de su dinámica regenerativa, no existen mayores antecedentes (Luebert y Pliscoff, 2006). De hecho, en Chile, la información sobre la propagación y viverización de las plantas altoandinas es muy escasa y existe un gran vacío de conocimiento sobre el cómo rescatar, recolectar, reproducir, estimular el crecimiento y establecer las especies que allí habitan. Además, esta información es escasamente publicada (Mersey *et al.*, 2015).

En la actualidad, el Centro de Semillas y Árboles Forestales de la Universidad de Chile (CESAF) ha realizado diversas experiencias de propagación de especies altoandinas, cuyos resultados revelan bajas capacidades germinativas de las especies en laboratorio, poca disponibilidad de semillas viables por temporada, o bien, semillas que se presentan vanas en forma natural debido a sus características intrínsecas. En el caso de la especie *Chuquiraga oppositifolia*, su semilla, cuando logra colectarse, no supera el 10% de viabilidad analizada en laboratorio (Grez, 2018).

Estos porcentajes, al ser tan bajos, no ofrecen garantías para asegurar su propagación, por lo que se hace necesaria la búsqueda de otros métodos para asegurar este objetivo. Una alternativa para reproducir especies con problemas de germinación o bajo porcentaje de

viabilidad de la semilla (Ramos, 2004), es la propagación vegetativa, la cual 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 o raíz (Soto, 2004). Esta técnica permite obtener las mismas características fenotípicas y genotípicas de la planta madre y cuyo enraizamiento se logra en un período de cuatro a seis meses (Botti, 1999; Niklitschek, 2004).

La estaca es una porción separada de la planta, provista de yemas caulinares e inducida a emitir raíces; y que es susceptible de enraizar en condiciones y con tratamientos químicos adecuados (Botti, 1999; Niklitschek, 2004). Dentro de los factores que influyen en el éxito de enraizamiento de estacas se puede mencionar la edad de la planta madre (estado sanitario, nutricional, hídrico y fisiológico), tipo de estaca de tallo (apicales o terminales, subapicales o basales), época de recolección de las estacas, condiciones ambientales (temperatura y humedad), reguladores de crecimiento y sustrato de enraizamiento (Niklitschek, 2004; Soto, 2004).

En cuanto a la propagación vegetativa de la especie *Chuquiraga oppositifolia*, no se poseen resultados publicados. Tampoco hay antecedentes del comportamiento fenológico de la especie, lo que representa un problema no tan solo referido a aspectos biológicos, sino también a aspectos normativos, puesto que sus ecosistemas se encuentran intervenidos por proyectos de la industria minera y energética.

Este estudio pretende aportar con nuevos conocimientos en cuanto a la metodología a ser utilizada para propagar vegetativamente la especie *Chuquiraga oppositifolia*. Al respecto se propone evaluar si la temperatura y un regulador de crecimiento tienen consecuencias sobre la formación de raíces adventicias en estacas de *Chuquiraga oppositifolia*.

HIPÓTESIS

La temperatura y el uso del ácido naftalenacético favorece la formación de raíces adventicias en estacas leñosas de *Chuquiraga oppositifolia*.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de tres temperaturas y el uso del ácido naftalenacético respecto de la formación de raíces adventicias en estacas leñosas de *Chuquiraga oppositifolia*.

MARCO TEÓRICO

Descripción de la especie

Chuquiraga oppositifolia o hierba blanca, es un arbusto endémico que pertenece al orden Asterales y familia Asteraceae (Muñoz y Arroyo, 2006). El género *Chuquiraga* se encuentra presente en Argentina, en las provincias de Mendoza y Neuquén y en el centro de Chile, entre la Región de Coquimbo y la Región del Maule (Marambio y Trivelli, 2013). La especie *Ch. oppositifolia* habita principalmente entre los 1500 y 2500 m.s.n.m, haciendo dominante del paisaje ((Ecurra, 1985).

Arbusto muy ramificado desde su base, que no sobrepasa el metro de altura (Ecurra, 1985). Tiene tallos delgados y tortuosos, con corteza de color ceniciento. Las hojas se disponen en forma opuestas, son sésiles, levemente envainadoras y poseen una forma oblongo-lanceolada, terminada en un mucrón espinoso. En las axilas de las hojas se destaca un par de espinas amarillentas. Posee inflorescencias con forma de cabezuela, rodeadas por múltiples hojuelas externas de forma lanceolada. Estas hojuelas, no inician la floración, se mantienen erguidas y comprimen las flores, más tarde se arquean y permiten que las flores se acomoden en el capítulo de manera radiada. Sus flores son tubulosas de color amarillo anaranjado a rojizo, en ellas, se destaca un estilo saliente. El fruto es un aquenio muy pubescente, con destacado vilano rígido y plumoso (Ecurra, 1985).

Respecto de su fenología, la especie florece en verano, entre enero y marzo e incluso puede llegar hasta el mes de abril. Su propagación es por medio de semillas (Muñoz y Arroyo, 2006). El porcentaje de semillas establecidas dentro de cada capítulo varía ampliamente de 0 a 100%, aunque el número medio de aquenios producidos por capítulo es menor a 1 (Muñoz y Arroyo, 2006). Si bien esta especie no es capaz de auto fecundarse, un estudio realizado por los mismos autores, a través de una polinización manual suplementaria, determinó que la producción de semillas de *Chuquiraga oppositifolia* aumentó de dos a tres veces por encima de los niveles naturales (Muñoz y Arroyo, 2006). Sin embargo, el porcentaje de producción de semillas se mantuvo bajo, aumentando de 2,0 a 5,7%. Estos autores indican que esta dificultad en la producción de semillas tiene relación con un problema ampliamente conocido que se refiere a las bajas tasas de visitas de polinizadores en general, en los ecosistemas altoandinos y también está fuertemente limitada por la disponibilidad de macronutrientes en el suelo, como el nitrógeno, destacando que el éxito reproductivo de las plantas en los ecosistemas alpinos puede limitarse por la disponibilidad de recursos de fertilidad de suelo y la presencia de polinizadores.

En el CESAF de la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, *Chuquiraga oppositifolia* presentó diferentes dificultades para ser propagada por medio de semillas y a través de estacas durante los últimos tres años. Al respecto, es interesante destacar que:

- i. Su fenología varía año tras año, por lo que en una temporada pueden tener frutos en un determinado mes y al año siguiente ser completamente distintos.

- ii. Frutos que en su mayoría se encuentran vanos en terreno, por lo que se requiere coleccionar una gran cantidad de material en una primera instancia, y que no aseguran el éxito germinativo.
- iii. Mortalidad en los distintos ciclos del desarrollo, ya sea post-germinación o post-trasplante.
- iv. Mortalidad en la de etapa plantación, ya que, si bien no existen casos publicados de resultados exitosos de plantación, se presume una mortalidad post-plantación basada en datos de viverización (Grez, 2018).

Uso de auxinas en la formación de raíces adventicias

Hartmann y Kester (1988); Botti (1999); Moisés *et al.* (2016), informan que la utilización de sustancias químicas que contienen auxinas (hormona enraizante) generan buenos resultados en la estimulación de la producción de raíces adventicias. Sadhu, (1989), reportó que su aplicación promueve la iniciación de las raíces, incrementa el número y la calidad de las mismas, aumenta la uniformidad del enraizamiento y reduce el tiempo requerido para el proceso. En el mercado actual, existen diversos productos, siendo los más utilizados: el ácido indolbutírico (IBA por sus siglas en inglés) y el ácido naftalenacético (ANA).

El ANA, se ha utilizado en propagación de diversas especies, como, por ejemplo: *Sequoia sempervirens* (Ramos, 2004), *Drimys winteri* (Santelices, 1998), *Eucryphia cordifolia* (Niklitschek, 2004), en las que la aplicación de este producto, bajo el nombre comercial de "Keri Root", mejoró significativamente el porcentaje de enraizamiento promedio de las estacas. Además, en especies de difícil enraizamiento, como *Porlieria chilensis*, al probar Iba Root y Keri Root, pese a obtener un porcentaje mínimo de estacas enraizadas en ese estudio, todas pertenecían al tratamiento con Keri Root (Contreras, 2018). Además, estudios específicos en propagación de especies altoandinas, tales como *Junellia spathulata* (Guzmán *et al.*, 2013) y *Baccharis linearis* (Doll *et al.*, 2013), aplicando dosis de IBA, no se obtuvieron buenos resultados de enraizamiento.

Actualmente en CESAF, se han probado diferentes dosis de Iba Root y Keri Root sobre estacas de *Chuquiraga oppositifolia*, alcanzando porcentajes de enraizamiento cercanos al 50% con Keri Root (ANA), mientras que con Iba Root, el enraizamiento no superó el 20% de los individuos (Grez, 2018).

Temperatura en la formación de raíces adventicias

La temperatura del sustrato es uno de los factores que influyen en el arraigamiento de estacas (Sisaro y Hagiwara 2016). El uso de camas calientes es una técnica que permite mantener una temperatura mínima óptima de sustrato, que estimulen la activación de células y el arraigamiento de las estacas (Santelices, 1998; Salinas *et al.*, 2011). En la actualidad, se ocupan técnicas convencionales, como el uso de resistencias eléctricas que generan calor y son regulados por un termostato, para facilitar el control de una temperatura óptima (Salinas *et al.*, 2011).

La temperatura ambiental óptima para el enraizamiento varía según la especie (Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999 y Soto, 2004), sin embargo, la mayoría de estas, requieren rangos diurnos de 20° a 27°C y de 15° a 25°C en la zona basal (Sisaro y Hagiwara 2016). Muchas especies logran mayores porcentajes de enraizamiento en un menor tiempo cuando la temperatura del sustrato se mantiene entre 25 y 28 °C en los primeros 15-20 días, para luego disminuirla a entre 18 y 20 °C. Esta condición puede llegar a ser decisiva en el proceso de enraizamiento para algunas especies vegetales (Botti, 1999).

Diversos estudios en *Juglans cinérea* y *Robinia pseudoacacia*, se han probado temperaturas de sustrato de 27 y 25° C, obteniendo resultados de enraizamiento de 9% y 45% respectivamente (Pijut *et al.*, 2011). Temperaturas más altas tienden a estimular el desarrollo de las yemas con anticipación al desarrollo de las raíces y aumentar la pérdida de agua por las hojas (Henríquez, 2004). Por otro lado, una baja temperatura en el sustrato influye en su actividad biológica, inhibiendo el desarrollo de las raíces cuando la temperatura es menor a 20°C y pudiendo limitar gravemente el crecimiento de estas (Cozano, 2014).

Santelices, (1998) evaluó el uso de camas calientes de arraigamiento en estacas de *Drimys winteri* J.R. et G. Forster, a diferentes temperaturas: 18, 21 y 24° C, durante seis meses, concluyendo que a una temperatura igual o superior a los 21°C aumenta significativamente la cantidad y calidad de raíces producidas, como también su longitud. Este autor indica que es probable que las estacas mantenidas en sustratos a temperatura ambiente y a 18°C, aumenten la inducción y el desarrollo de las raíces al prolongar su permanencia en las camas calientes, aunque es difícil que alcancen los mismos resultados.

Finalmente, Niklitschek, (2004) realizó un estudio utilizando Keri Root en Ulmo (*Eucryphia cordifolia*), con temperaturas fluctuando entre 15 y 20°C, obteniendo un 100% de enraizamiento. Mientras que Contreras (2018), resultados similares en *Porlieria chilensis*, pero utilizando una temperatura mínima de 25°C.

Fibra de Coco como sustrato

Las principales características de la fibra de coco son su alta capacidad de retención de agua (62% a capacidad de contenedor), y una elevada aireación del sistema radicular (24% a capacidad de contenedor; Contreras, 2018). Estudios con fibra de coco concuerdan con que es un material altamente poroso, lo cual ayuda al buen desarrollo de la raíz y su textura fibrosa no crea una capa impermeable al secarse (Quiñones, 2014). Este sustrato se utilizó en una investigación realizada por Gayosso-Rodríguez, *et al.*, (2016), mezclado con otros sustratos como tierra de hoja y perlita, cáscara de arroz, entre otros, mostrando un aumento en el crecimiento de las plantas tanto en el número de hojas como radicular, y una mayor estabilidad física del sustrato.

En CESAF, se han realizado ensayos de propagación vegetativa de especies altoandinas, en los que se han utilizado diferentes sustratos, que incluyen fibra de coco mezclada con arena y tierra, en distintas proporciones, sin embargo, los mejores resultados en el enraizamiento de las estacas se han obtenido utilizando sólo de fibra de coco (Grez, 2018). Esta situación

es confirmada por Quiñonez (2014), al comparar un sustrato convencional (50% de broza, 30% de tierra negra y 20% de arena cuaternaria), versus fibra de coco (60% de fibra de coco y 40% de arena cuaternaria), donde este último reveló mejor calidad en las plantas cultivadas. Además, menciona que, si bien el costo de producción de este sustrato es superior a un sustrato convencional, se nivela al aumentar también los ingresos debido a la obtención de una mejor calidad de plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ensayo de propagación vegetativa se llevó a cabo en el laboratorio del CESAF y en el vivero Antumapu de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile (CFCN).

La cosecha se realizó el año 2018. El material vegetal empleado fue producido a partir de estacas provenientes del crecimiento vegetativo de la temporada anterior, recolectadas en la Precordillera de la Región Metropolitana (33°40'Sur; 70°38'Oeste). En el laboratorio se preparó el material vegetal y se mantuvo bajo techo al interior del galpón del CESAF, bajo condiciones controladas de temperatura: T° mínima de 20 °C, T° mínima de 25 °C y T° ambiente, ésta última fluctuó entre los 6 °C y los 16,5 °C, durante los primeros dos meses de estudio.

Posteriormente, el ensayo se llevó al vivero Antumapu, con control de riego automático y malla sombra de 60%, en condiciones de luminosidad y temperatura ambiente, puesto que, había cumplido con el tiempo mínimo para el control de la temperatura y las plantas se habían comenzado a etiolar. Al respecto, Botti, (1999) señala que las especies logran mayores porcentajes de enraizamiento y en menor tiempo cuando la temperatura del sustrato se mantiene entre 25 y 28 °C en los primeros 15 a 20 días, para luego disminuirla a entre 18 y 20 °C. Esta condición puede llegar a ser decisiva en el proceso de enraizamiento para algunas especies vegetales (Botti, 1999)

El ciclo de luz correspondió a las horas de luz propias de la temporada de duración del ensayo, aproximadamente 10 horas de día y 14 horas de noche.

Materiales

Material vegetativo

El material vegetativo corresponde a estacas de *Chuquiraga oppositifolia*, recolectadas de plantas madre provenientes de la Precordillera de la Región Metropolitana, en la comuna de San José de Maipo (33°40'Sur; 70°38'Oeste).

Sustrato

El sustrato de crecimiento corresponde a bloques de fibra de coco (Protekta Ltda), sometido a un proceso de hidratación (Contreras, 2018).

Contenedores

Se utilizaron 18 bandeja speedling plumavit o poliestireno expandido (Aislantes y Envases Ltda), de 84 cavidades (12 x 7) y 130 cm³ de capacidad por cavidad, lo que da un total de 10.920 cm³ de volumen disponible por bandeja.

Enraizante

Se utilizó el enraizante hormonal comercial Keri Root (Yates importadora), compuesto por la auxina ANA, a una concentración de 4.000 ppm, y el fungicida en polvo captan 80 WP (Anasac S.A.). El fungicida se aplicó en una dosis de 10 g \times L⁻¹ de agua (Soto, 2004) (Vergara 2006; Contreras 2008).

Temperatura

Los ensayos se implementaron utilizando tres diferentes temperaturas de sustrato: temperatura ambiente, temperatura mínima de 20°C y temperatura mínima de 25°C (Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999). El tratamiento temperatura ambiente, con y sin enraizante, se dispuso directamente sobre la superficie de tres mesones metálicos. Para controlar las temperaturas mínimas se utilizaron seis placas de resistencia eléctrica (camas calientes) de 142,4 m² y 0,5 m de altura, controladas por termostatos y un medidor de temperatura (termómetro) que va conectado al sustrato (Santelices, 1998; Sisaro y Hagiwara, 2016). La medición de la temperatura directamente sobre el sustrato permite conocer la temperatura que afecta directamente a la estaca (Soto, 2004; Sisaro y Hagiwara, 2016). Entre la placa de resistencia y la estaca existen pérdidas de calor por convección, y una baja conductividad térmica del material poliestireno de la bandeja speedling, y de la fibra de coco (Burgos, 2008; Díaz, 2014).

Metodología

Para el ensayo se utilizó la metodología descrita por Botti, (1999), para lo cual, se consideraron las siguientes etapas:

Cosecha

Se realizó entre el 8 y 10 de mayo del año 2018. La elección del material de estaquillado fue en función de las condiciones morfológicas de los individuos en terreno, optando por extraer ramas largas, que correspondieran al crecimiento vegetativo de la temporada anterior y que no se encontraran dañadas por el ramoneo del ganado o de la fauna nativa (figura 1). Se evitó coleccionar material que incluyera flores o frutos, para enfocar todos los esfuerzos en la formación de callos y raíces y de esta manera evitar que la estaca utilice sus recursos en el desarrollo de estos órganos (Soto, 2004; Sisaro y Hagiwara, 2016). En total, se colectó material para producir 1.512 estacas.



Figura 1. Cosecha de material vegetativo de *Chuquiraga oppositifolia* D. Don

Conservación de las estacas

Las estacas cosechadas fueron guardadas en bolsas plásticas cerradas, dispuestas dentro de una cámara de frío a una temperatura de 3-10°C desde el día de la colecta hasta el momento de la instalación del ensayo, para evitar la deshidratación excesiva del material (Soto, 2004; Sisaro y Hagiwara, 2016).

Instalación del ensayo

Este procedimiento consistió en:

- i) La preparación del sustrato.
- ii) Llenado de bandejas.
- iii) Corte de las estacas.
- iv) Aplicación del enraizante en los casos que corresponda.

La fibra de coco se adquiere en una presentación de bloques compactados y deshidratados, los cuales fueron desmenuzados manualmente y rehidratados. Para esto fueron sumergidos en un contenedor y regados a saturación durante 24 horas (Urrestarazu, 2013). Posterior a eso, la fibra de coco ya desmenuzada fue colocada homogéneamente en cada cavidad de las bandejas speedling.

Todas las estacas fueron cortadas con un tamaño uniforme, de 15 cm, eliminando las hojas inferiores y las espinas para facilitar la manipulación. Sin embargo, se conservaron las hojas superiores de cada estaca, ya que, la presencia de hojas en las estacas ejerce una fuerte acción estimulante sobre la iniciación de raíces, dado que las yemas y hojas son poderosos productores de auxinas (Henríquez, 2004).

Posteriormente, todas las estacas fueron puestas en un vaso de precipitado con la finalidad de mantener la base de la estaca hidratada previo a la aplicación del ANA y, además, porque de esta manera permite una mejor adherencia del producto (Sisaro y Hagiwara, 2016).

Para la instalación de las estacas, que se llevó a cabo el día 10 de mayo, se untó la zona basal de la estaca en el Keri Root e inmediatamente fueron enterradas en cada cavidad de las bandejas speedling. Este procedimiento se realizó con la ayuda de un tutor de madera (figura 2). Finalmente se eliminaron los bolsones de aire, apretando un poco el sustrato con las manos para que la estaca quedase firme (Sisaro y Hagiwara, 2016).



Figura 2. Instalación del ensayo de propagación vegetativa de *Chuquiraga oppositifolia*

Una vez finalizada la instalación, los tratamientos con temperatura se dispusieron sobre las seis placas de resistencia eléctrica (camas calientes), mientras que los tratamientos a temperatura ambiente fueron dispuestos directamente sobre tres mesones metálicos (Santelices, 1998). Dentro de cada mesón se dispusieron los tratamientos sin y con enraizantes descritos en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos con las combinaciones de T° y enraizante

| Tratamiento | Enraizante | Temperatura |
|-------------|---------------|-------------|
| T1 | Sin Keri Root | mínima 25° |
| T2 | Sin Keri Root | mínima 20° |
| T3 | Sin Keri Root | ambiente |
| T4 | Con Keri Root | mínima 25° |
| T5 | Con Keri Root | mínima 20° |
| T6 | Con Keri Root | ambiente |

Diseño experimental

Para el diseño experimental se dispuso de nueve mesones, divididos entre: tres mesones sin placa de resistencia (control), 3 Placas de resistencia programadas a una temperatura mínima de sustrato de 20°C y 3 Placas de resistencia programadas a una temperatura mínima de sustrato de 25°C.

Se utilizó un diseño completamente aleatorio con estructura de parcelas divididas (Mansilla, 2004). En cada mesón se instalaron 2 bandejas speedling, y cada bandeja speedling se dividió en tres partes iguales (28 cavidades cada tercio), obteniendo 168 estacas por mesón. Esto multiplicado por los nueve mesones da un total de 1.512 estacas. Las condiciones de temperatura (placas de resistencia y mesones metálicos) representan la parcela principal, dentro de la que se distribuyen los tratamientos al azar. A continuación, se presenta el modo de distribución (Figura 3):

| | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° mínima 25° C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° mínima 25° C | | | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° mínima 20° C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° mínima 20° C | | | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° ambiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° ambiente | | | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) |
|-----------------------------|---|-----------------------------|--|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-----------------|--|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-----------------|--|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| T° mínima 25° C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° mínima 20° C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° ambiente | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bandeja 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bandeja 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° ambiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° ambiente | | | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° mínima 25° C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° mínima 25° C | | | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° mínima 20° C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° mínima 20° C | | | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) |
| T° ambiente | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° mínima 25° C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° mínima 20° C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bandeja 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bandeja 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° mínima 20° C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° mínima 20° C | | | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° ambiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° ambiente | | | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">T° mínima 25° C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> <tr> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Con enraiz. (28 estacas)</td> <td>Sin enraiz. (28 estacas)</td> </tr> </tbody> </table> | T° mínima 25° C | | | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) |
| T° mínima 20° C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° ambiente | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sin enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T° mínima 25° C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Con enraiz. (28 estacas) | Con enraiz. (28 estacas) | Sin enraiz. (28 estacas) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bandeja 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bandeja 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 3. Distribución de las estacas en los mesones (3 mesones por temperatura).

Mantención

Con el propósito de mantener la humedad y temperatura ideal para el desarrollo de las raíces, se consideraron las siguientes medidas: De forma periódica se regaron las estacas, teniendo precaución de que no perdieran más del 20% del contenido de agua a capacidad de contenedor, ya que, según Hartmann y Kester (1988) y Botti, (1999), la humedad debe ser alta, entre 70 y 80% aproximadamente para evitar la deshidratación del material vegetal. Para esto, al comienzo del ensayo se regaron todas las bandejas speedling a saturación, y por diferencia de masas, de 3 bandejas se determinaron los gramos de agua que correspondían a la pérdida del 20%. Tres veces a la semana, se verificaba el peso de 3 bandejas al azar y el cumplimiento de la pérdida del 20% de agua. La temperatura del ensayo se evaluó y controló a través de dos termómetros digitales, mediante sensores GS3 conectados a un Data Logger EM50 (Decagon devices), determinando valores diarios.

Extracción y mediciones

La semana del 17 de diciembre del 2018, al transcurrir 34 semanas; se dio término al ensayo. Todas las estacas fueron extraídas para su examinación y análisis de resultados. Se colectó la siguiente información (cuadro 2):

Cuadro 2. Información colectada en el ensayo de propagación

| Parámetro | Características |
|---------------------|----------------------|
| Sobrevivencia | Viva/ Muerta |
| Presencia de hojas | Presencia / ausencia |
| Presencia de callo | Presencia / ausencia |
| Inducción de raíces | Presencia / ausencia |

En todos estos parámetros, se refiere a la proporción en porcentaje de las estacas que se encontraban vivas, con hojas, con callos y con raíces al momento de levantar el ensayo. La medición se efectuó a través del simple conteo de las estacas para cada combinación de tratamiento y sus respectivas repeticiones.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos, se utilizó el siguiente modelo:

$$\gamma_{ijk} = \mu + T_i + U_{j(i)} + M_k + (TM)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

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); $(TM)_{ik}$ es la interacción temperatura x enraizante ϵ_{ijk} es el error de la parcela pequeña (aleatorio).

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza, con el software estadístico INFOSTAT, con un nivel de confianza de $\alpha= 0,05$. Las medias fueron separadas mediante el test de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fischer. Dado que los datos no se distribuían normalmente y las varianzas no eran homogéneas se hicieron las transformaciones correspondientes para validar los supuestos. Para esto se realizó una transformación raíz cuadrada del logaritmo: $\sqrt{(\ln(x))}$ (Balzarini *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobrevivencia, presencia de hoja y callo

Sobrevivencia

Para el caso de la sobrevivencia, de las 1.512 estacas, sólo 228 se encontraban vivas al término del ensayo, lo que representa un 15,1 % del total. Este valor considera todas las estacas, sin diferenciar el tratamiento hormonal, incluyendo: estacas enraizadas, estacas con brotes en sus estructuras pero sin presencia de raíces, y estacas sin brotes o con hojas secas.

Presencia de hoja

De las 1.512 estacas, sólo 162 se encontraban con hojas en sus estructuras, sin diferenciar entre aquellas enraizadas y las que no tenían desarrollo de raíz o callo, lo que representa un 10,71% del total. La presencia de hojas al término de un ensayo de propagación vegetativa revela que, a simple vista, y sin realizar ninguna revisión, la estaca se encuentra activa y por ende se espera exista formación de callos y/o desarrollo de raíces.

Formación de callo

Del total de las estacas, ninguna presentó formación de callo en sus estructuras.

El callo es una masa irregular de células de la región del cambium vascular y el floema adyacente, y aunque es muy común que las primeras raíces aparezcan a través del callo, la formación de esta estructura no condiciona el desarrollo de raíces (Henríquez, 2004).

En la mayoría de las plantas, la formación de callos y de raíces son procesos independientes entre sí y cuando ocurren en forma simultánea es debido a su dependencia de condiciones internas y ambientales similares (Henríquez, 2004).

Dos estudios de propagación vegetativa de la especie alto andina *Fabiana imbricata*, revelaron una nula formación de callos y un éxito en la inducción de raíces (Schmeda-Hirschmann *et al.*, 1993; Vergara, 2006).

Actualmente en CESAF, se han realizado diversos ensayos de propagación vegetativa con especies altoandinas como *Fabiana imbricata*, *Ephedra chilensis*, y *Chuquiraga oppositifolia*, con duraciones que varían entre los 6 y los 12 meses y, en los que, en ninguno de los casos, se ha observado formación de callo (Grez, 2018).

Efecto Auxina (ANA) sobre la sobrevivencia y presencia de hojas

De acuerdo al ANDEVA, detallado en el Apéndice I y II respectivamente no existe una interacción entre el uso del ANA y la temperatura que influya en la sobrevivencia y en la presencia de hojas en las estacas.

Analizando el efecto de la hormona enraizante, en el caso de la sobrevivencia y la presencia de hojas, el análisis ANDEVA, no revela diferencias significativas entre aplicar enraizante a las estacas o no, independiente de la temperatura utilizada. Sin embargo, a nivel de tendencia, en promedio, los tratamientos sin enraizante (ANA), obtuvieron porcentajes levemente superiores de sobrevivencia total (Cuadro 3).

La presencia de hojas al término de un ensayo de propagación vegetativa revela que, a simple vista, y sin realizar ninguna revisión, la estaca se encuentra activa y por ende se espera exista formación de callos y/o desarrollo de raíces.

Cuadro 3. Efecto auxina (ANA) sobre la sobrevivencia y la presencia de hojas en las estacas

| Variable | N° Estacas vivas | Media (%) | N° Estacas vivas | Media (%) |
|-----------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| Enraizante | Sobrevivencia | Sobrevivencia | Presencia hoja | Presencia hoja |
| Sin enraizante | 127/228 | 14,11 a | 96/162 | 10,67 a |
| Keri Root | 101/228 | 11,22 a | 66/162 | 7,33 a |

Letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas según la prueba de LDS Fischer ($p\text{-value} \leq 0,05$).

En el Cuadro 3 se observa que de un total de 162 estacas que presentaban hojas al término del ensayo, 96 correspondían al tratamiento sin ANA mientras que 66, correspondían al tratamiento con Keri Root, lo que podría indicar que no aplicar enraizante a las estacas, independiente de la temperatura utilizada, favorecería de mayor manera la presencia de hojas en ellas y por ende el enraizamiento final. Al realizar el análisis estadístico, detallado en el Apéndice II, se constató que no hay diferencias significativas al $p\text{-value} > 0,05$, entre usar enraizante o no.

Efecto Temperatura sobre la sobrevivencia y presencia de hojas

Al analizar las diferentes temperaturas por separado, tanto en la sobrevivencia como en la presencia de hojas, se observaron diferencias significativas entre ellas (al $p\text{-value} \leq 0,05$), revelando que es mejor dejar las estacas a temperatura ambiente versus someterlas a alguna de las dos temperaturas de estudio, independiente de si se usa o no enraizante, obteniendo una sobrevivencia promedio cercana al 25 % y presencia de hojas en casi el 16 % de las estacas sometidas a temperatura ambiente (Cuadro 4).

La temperatura ambiente para el periodo de duración del ensayo al interior del recinto del CESAF (2 meses) fue en promedio de 12,6 °C, con una mínima de 6 °C y una máxima de 16,5 °C, medidas con termómetros digitales.

Cuadro 4. Efecto de la temperatura sobre la sobrevivencia y la presencia de hojas en las estacas

| Variable | Nº Estacas vivas | Media (%) | Nº Estacas vivas | Media (%) |
|-----------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| Temperatura | Sobrevivencia | Sobrevivencia | Presencia hoja | Presencia hoja |
| ambiente | 146/228 | 24,33 a | 94/162 | 15,67 a |
| 20 | 57/228 | 9,50 b | 48/162 | 8,00 b |
| 25 | 25/228 | 4,17 b | 20/162 | 3,33 b |

Letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas según la prueba de LDS Fischer ($p\text{-value} \leq 0,05$).

El cuadro 4 indica que no existen diferencias significativas al $p\text{-value} > 0,05$, entre las estacas sometidas a 20 °C versus las de 25 °C, para ninguno de los tratamientos. Se observó que la mayor cantidad de hojas se encontraban en las estacas a temperatura ambiente, y, por lo tanto, esa sería la mejor temperatura probada en este ensayo para la sobrevivencia y el desarrollo de raíces, usando o no enraizante.

De acuerdo con los Cuadros 3 y 4 se infiere que la temperatura ambiente es un factor relevante en la sobrevivencia y en la presencia de hojas en las estacas, no así las temperaturas de 20 y 25 °C. Respecto de esta última, muy pocas estacas lograron sobrevivir a altas temperaturas iniciales. En relación con el tipo de enraizante utilizado, los cuadros indican que no pareciera influir sobre la sobrevivencia y la mantención de las hojas en las estacas durante todo el proceso de enraizamiento.

La figura 4 detalla los porcentajes de sobrevivencia obtenidos y el detalle del porcentaje promedio de estacas con hojas, por tratamiento. En él se puede observar que si bien, los valores de sobrevivencia en el tratamiento con Keri Root a temperatura ambiente son levemente más altos que el tratamiento sin enraizante, pudiendo situarlo como mejor tratamiento, el análisis estadístico revela que no es significativo. Así mismo, en el caso de la presencia de hojas, tanto el tratamiento a temperatura ambiente con Keri Root como el tratamiento sin enraizante, obtuvieron los mismos porcentajes.

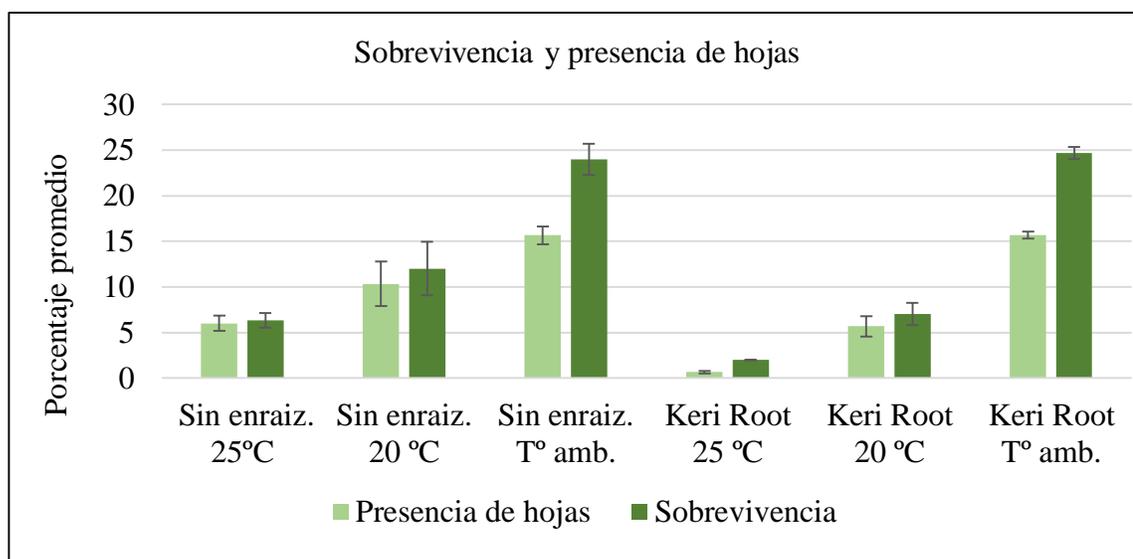


Figura 4. Resultados promedio de Sobrevivencia y presencia de hojas, por tratamiento.

Según la figura 4, se puede observar que, en ambos casos, la utilización de ANA para la temperatura ambiente no causa ningún efecto en la sobrevivencia y en la presencia de hojas de *Chuquiraga*. Además, independiente de la presencia de ANA, se observa la tendencia de disminuir a medida que la temperatura del sustrato aumenta, misma tendencia reportada por Santelices, (1998), quien determinó que sobre 21°C, disminuía el enraizamiento de estacas de Canelo.

Inducción de raíces

Las estacas enraizadas fueron 205, correspondiente a un 13% de las estacas totales (1.512), sin diferenciar entre los tratamientos.

No hubo interacción entre el uso del ANA y la temperatura en la inducción de raíces en las estacas.

Efecto del ANA sobre la inducción de raíces

El uso de ANA no es significativo sobre la inducción de raíces (Apéndice III), por lo que, sin aplicar enraizante, la probabilidad de inducir raíces en *Chuquiraga oppositifolia* sería igual que con la ayuda de esta hormona (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto del ácido naftalenacético sobre el enraizamiento de estacas.

| Enraizante | Nº Estacas enraizadas | % Enraizamiento Medio |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Sin enraizante | 107/205 | 11,89 a |
| Keri Root | 98/205 | 10,89 a |

Letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas según la prueba de LDS Fischer (p-value $\leq 0,05$).

La tasa de inducción de raíces sin aplicar ANA llegó a un 12 %, siendo levemente mayor que utilizando Keri Root. Es probable que en la época en que se cosecharon las estacas, el nivel interno de auxinas promotoras de las raíces adventicias para esta especie fuera alto (Hartmann y Kester, 1998).

En general existe un bajo porcentaje de inducción de raíces de Chuquiraga, y la utilización de auxinas para favorecer este proceso, no generó mayores resultados de enraizamiento. En este caso se requiere indagar en la dosis adecuada. Un estudio realizado por King *et al.* (2011), reportó que no es indispensable aplicar auxinas para estimular el enraizado de estacas juveniles; en estos casos se obtuvieron porcentajes de enraizado similares, o incluso mayores, sin aplicar auxinas.

Efecto de la temperatura sobre la inducción de raíces

Respecto de la temperatura, el Cuadro 6 muestra que existen diferencias significativas (al p -value $\leq 0,05$) entre las distintas temperaturas a la que se someten las estacas durante el periodo de enraizamiento. Según esta información se desprende que, las estacas sometidas a temperatura ambiente revelan un mayor desarrollo radicular que aquellas sometidas a 20° y 25° y que de las dos últimas temperaturas pareciera que 25° es una temperatura muy alta que afecta la formación y el desarrollo de raíces.

Cuadro 6. Efecto de la temperatura sobre el enraizamiento de estacas.

| Temperatura | Nº Estacas enraizadas | % Enraizamiento Medio |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Ambiente | 136/205 | 22,67 a |
| 20 | 53/205 | 8,83 b |
| 25 | 16/205 | 2,67 b |

Letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas según la prueba de LDS Fischer (p -value $\leq 0,05$).

Si bien, autores como Hartmann y Kester (1988), Botti (1999) y Soto (2004) indican que la mayoría de las especies requieren rangos diurnos de 20° a 27°C, y de 15° a 25°C en la zona basal, muchas especies logran mayores porcentajes de enraizamiento en un menor tiempo cuando la temperatura del sustrato se mantiene entre 25 y 28 °C en los primeros 15-20 días, para luego disminuirla a entre 18 y 20 °C. (Botti, 1999). En este caso, y según los datos obtenidos por termómetro, vemos que la temperatura ambiente mínima durante el proceso de enraizamiento de las estacas fue de apenas 6 °C y una máxima de 16,5 °C, lo que podría indicar que ciertas especies, de vida altoandina, en la que tienen que soportar temperaturas muy bajas en su hábitat natural (Cavieres *et al.*, 2000; Castor, 2002), requieren una temperatura incluso menor a los 18 °C. para inducir raíces adventicias.

Un estudio realizado por Iriarte *et al.* (1999), gracias a un sistema de cámaras controladas de temperatura y humedad, contaba con un sistema de humidificación de las estacas herbáceas y semi – leñosas, de los arbustos *Ficus carica*, *Olea europaea* y *Rosmarinus officinalis*, creando un microclima adecuado alrededor de las estaquillas, reveló mayores porcentajes de enraizamiento en los momentos de bajas temperaturas. En este caso, si bien, la temperatura promedio del aire próximo a los esquejes, tenía un mínimo de 9,8 °C y un máximo de 25 °C,

la temperatura promedio de la superficie de los mesones tenía un valor mínimo próximo a los 10 °C y un valor máximo de 13 °C, variando entre el día y la noche, en correspondencia con la temperatura del ambiente exterior.

Es importante señalar que las estacas de este estudio fueron colectadas cuando las plantas madres se encontraban en periodo vegetativo, al igual que las estacas de *Chuquiraga oppositifolia*.

En la Figura 5 se puede apreciar que el tratamiento sin enraizante a temperatura ambiente produce un efecto similar al de Keri Root a temperatura ambiente (20,67 y 24,67% promedio de enraizamiento respectivamente). Esto, a simple vista, indica que la temperatura podría ser un factor relevante y no así el enraizante utilizado, sin embargo, las fotografías (Figura 6) revelan diferencias en la formación de raíces de un tratamiento versus otro.

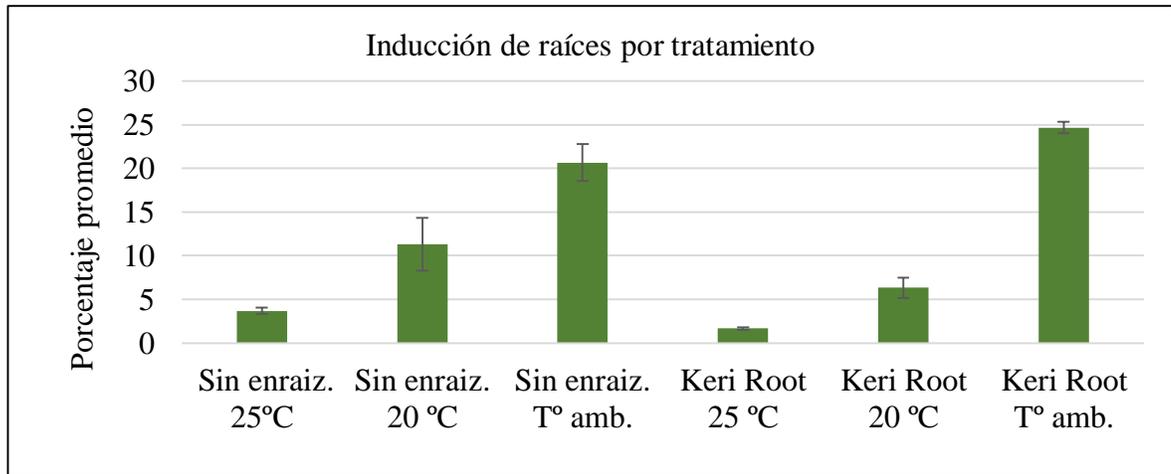


Figura 5. Resultados promedio de inducción de raíces por tratamiento.



Figura 6. Estacas *Chuquiraga oppositifolia* enraizadas. Izquierda: Tratamiento testigo. Derecha: Tratamiento Keri Root.

En la Figura 6 se observa que las estacas tratadas con Keri Root presentaron raíces más frondosas y mejor distribuidas que aquellas estacas que no fueron sometidas a enraizante (Vergara, 2006). Por lo tanto, se puede inferir que, si bien, las temperaturas parecieran ser determinantes por sobre el tipo de enraizante, la distribución de las raíces dentro del pan de tierra y una mayor cantidad de raíces secundarias son fundamentales para un correcto establecimiento de la planta en terreno y su posterior desarrollo, por lo que es un factor importante a considerar (Grez, 2018). En la Figura 7 se aprecia la misma situación: mientras que las primeras cuatro imágenes corresponden a estacas que no fueron sometidas a enraizante, la imagen de la derecha se muestra claramente diferente y corresponde a una estaca tratada con Keri Root, sin embargo, como no fue una variable medida, no es posible conocer el comportamiento de estas plantas a futuro.



Figura 7. Estacas *Chuquiraga oppositifolia* enraizadas. Izquierda: Tratamiento testigo. Derecha: Tratamiento Keri Root.

Siguiendo la misma tendencia observada en el enraizamiento del ensayo, Hartmann y Kester, (1998), reportan que existe una correlación positiva entre el porcentaje de hojas retenidas y la formación de raíces en las estacas. Sin embargo, es importante señalar que la presencia de hojas al finalizar el ensayo, en este caso no refleja la sobrevivencia real y tampoco la inducción de raíces de las estacas, ya que, si bien se detectaron estacas que se encontraban activas con hojas verdes, no evidenciaron desarrollo de raíces y tampoco formación de callo en sus estructuras (Figura 8).

Por otro lado, también se detectaron estacas que presentaban hojas secas (Figura 9), por lo que aparentaban estar inactivas o muertas, sin embargo, al momento del levantamiento del ensayo, éstas revelaron un desarrollo radicular igual que aquellas estacas que tenían sus hojas verdes.



Figura 8. Estacas activas en la parte aérea sin formación de raíces o callo.



Figura 9. Estacas con hojas secas con formación de raíces.

También, se encontraron estacas que, si bien tenían raíces, éstas se encontraban muertas (Figura 10), lo que hace alusión a que probablemente en un inicio del ensayo se contaba con un número mayor de estacas enraizadas y que pudieron haber sufrido el mismo deterioro y posterior muerte radicular.



Figura 10. Presencia de raíces muertas, en estacas de *Chuquiraga oppositifolia*.

La Figura 11, explica la diferencia entre aquellas estacas que aparentemente se encontraban activas, pero sin desarrollo radicular, y aquellas que tenían hojas secas pero que de igual manera habían formado raíces.

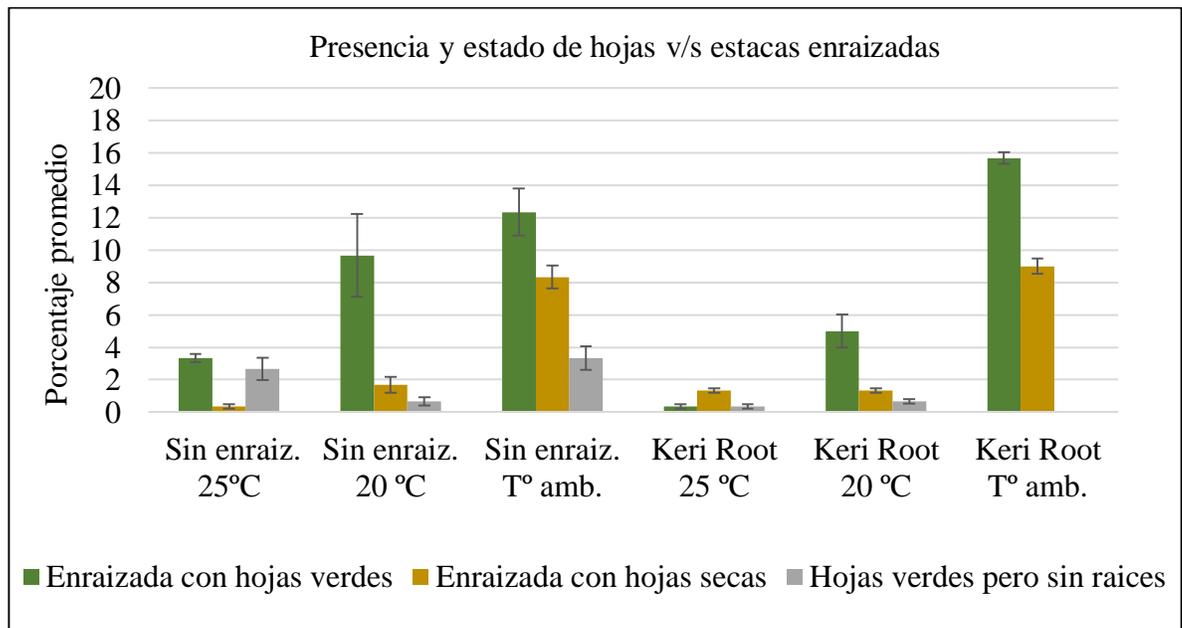


Figura 11. Resultados promedio de presencia y estado de hojas v/s estacas enraizadas por tratamiento.

De las 162 estacas que presentaban hojas en sus estructuras al término del ensayo, 23 presentaban hojas verdes sin desarrollo radicular y 66 se encontraban con hojas secas al momento del levantamiento del ensayo, pero con desarrollo radicular.

En el primer caso, es probable que las estacas necesitaran un tiempo más prolongado para lograr la formación de callos o inducción de raíces, o diferentes condiciones de temperatura y dosis de enraizante. En el segundo caso, la explicación no es clara, pero indica que a pesar de que ciertas estacas aparenten estar inactivas en su parte superior no significa que no hayan logrado la inducción de raíces. Es importante notar, que la mayor cantidad de estacas con hojas secas, pero con desarrollo radicular, pertenecen a los tratamientos a temperatura ambiente con Keri Root y sin aplicación de enraizante, tratamientos que según lo analizado tanto en sobrevivencia como en presencia de hojas revelan ser los mejores tratamientos.

En general, todas las variables evaluadas: sobrevivencia, presencia de hojas e inducción de raíces presentaron similares resultados, y es que, en cada uno de estos casos, no existió interacción entre la hormona enraizante ANA y la temperatura.

Por otro lado, y pese a no medir longitud de raíces, en general las estacas sometidas al tratamiento con ANA presentaban una mejor distribución de raíces y una mayor cantidad de raíces secundarias, lo que eventualmente sería una ventaja en el establecimiento final de estas plantas producidas por estacas. La aplicación de enraizante no pareciera favorecer la aparición de raíces, y asumiendo que el material es relativamente homogéneo, existe un factor genético importante que no está evaluado, recalando además que, en aquellas estacas enraizadas, la aplicación de ANA efectivamente indujo un cambio en la cantidad y distribución de las raíces adventicias. Esto quiere decir que, en aquellas plantas que tienen una tendencia a natural a generar estacas, ANA podría ser capaz de mejorar la cantidad de raíces, y que eventualmente, se requieren otras dosis u otro producto para inducir raíces en aquellos ejemplares más refractarios, sin embargo, como no fue una variable medida, no es posible saber si esta hipótesis se cumple y tampoco es posible conocer el comportamiento de estas plantas a futuro (Vergara, 2006 y Grez, 2018).

Pese a que el ANDEVA no reveló diferencias significativas, al analizar el efecto del enraizante sobre las variables, los tratamientos sin ANA revelaron levemente, mejores porcentajes de enraizamiento que los tratamientos con ANA. De acuerdo con esta información se puede inferir que, en términos económicos, es recomendable elegir el tratamiento sin ANA.

Tomando en cuenta que para este ensayo de propagación vegetativa se instalaron solo 1.512 estacas y que en general, los proyectos de la industria minera y energética que actualmente se emplazan e interviene estas áreas altoandinas, están requiriendo hoy en día magnitudes superiores, la cantidad que se necesitaría para llegar sólo a un 25% de enraizamiento es altísima.

El bajo porcentaje de estacas inducidas, con la metodología propuesta en este trabajo, estaría asociado a otros factores no considerados en este estudio, por lo que será necesario, para obtener un mayor porcentaje de enraizamiento, evaluar en estudios posteriores, factores como: diferentes tipos de sustratos, época de colecta de las estacas, aplicaciones de otras hormonas reguladoras de crecimiento, entre otras, tomando en cuenta una temperatura ambiente que no supere los 15 °C.

CONCLUSIONES

No existió un efecto significativo de la aplicación de ANA en la sobrevivencia, presencia de hojas e inducción de raíces, por lo tanto, la hipótesis se rechaza.

En el caso de la temperatura, si se observaron diferencias significativas (al p-value $\leq 0,05$), para el enraizamiento, presencia de hojas y sobrevivencia, resaltando la temperatura ambiente sobre la temperatura mínima 20°C y mínima 25°C.

Según estos resultados, *Chuquiraga oppositifolia* no requiere aplicación de ANA para la formación de raíces en estacas leñosas. Por lo tanto, el mejor tratamiento de enraizamiento sería a temperatura ambiente, y sin tratamiento hormonal, si se consideran costos de producción. Lo anterior implica importantes ahorros en términos de insumos, energía eléctrica y tiempo de instalación.

Debido al bajo porcentaje de enraizamiento obtenido con la metodología planteada, se recomienda, evaluar en otra investigación, el enraizamiento de estacas de *Chuquiraga oppositifolia* probando otros reguladores de crecimiento (hormonas) en distintas concentraciones, sustratos y temperaturas. Así mismo, se debiera probar material vegetal de otras procedencias y colectado en otras condiciones de terreno, como por ejemplo material rejuvenecido por podas de la temporada anterior.

BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo, M., J. Armesto and C. Villagrán. 1981. Plant phenological patterns in the high Andean Cordillera of Central Chile. *Journal of Ecology*, 69: 205-223.
- Balzarini, M., L. González, M. Tablada, F. Casanoves, J. Di Rienzo y C. Robledo. 2008. Infostat: Manual del Usuario. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 340 p.
- Botti, C. 1999. Principios de la propagación y técnicas de propagación por estacas. Pp 72 - 82. En: Manejo tecnificado de invernaderos y propagación de plantas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 161 p.
- Burgos, D. 2008. Análisis y propuestas de soluciones técnicas de aislación térmica exterior en el mercado chileno. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. 188 p.
- Castor, C. 2002. Patrones, procesos y mecanismos de dispersión secundaria en plantas andinas de Chile Central. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias con mención en Biología. Universidad de Chile. 172 p.
- Cavieres, L., A. Peñaloza and M. Arroyo. 2000. Altitudinal vegetation belts in the High-Andes of central Chile (33°S). *Revista Chilena de Historia Natural*, 73: 331-344.
- Contreras, A. 2018. 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, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile.
- Cozano, M. 2014. Evaluación de la propagación de plantas para restauración de hábitat del picaflor de Arica (*Eulidia yarrellii*) en el valle de Chaca, región de Arica y Parinacota. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 58 p.
- Díaz, E. 2014. Evaluación de la factibilidad técnica y económica de una planta de producción de paneles aislantes térmicos a partir de plástico desechado. Memoria para optar al título de Ingeniera Civil Química. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. 95 p.
- Doll, D., C. Norambuena y O. Sánchez. 2013. Efecto de la aplicación de IBA sobre el enraizamiento de estacas en seis especies arbustivas nativas de la región mediterránea de Chile. *IDESIA Chile*, 31(3), 65-69.
- Ezcurra, C., 1985. Revisión del género *Chuquiraga oppositifolia* (Compositae-Mutisieae). *Instituto de Botánica Darwiniana*, 26 (1-4): 219-284.
- Grez, I. 2018, abril. Experiencias en propagación de especies [Entrevista personal]. Santiago, Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales (CESAF). Facultad de Ciencias forestales y conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.
- Gayosso-Rodríguez, S., L. Borgues-Gómez, E. Villanueva-Couoh, M. Estrada-Botello y R. Garruña-Hernández. 2016. Sustratos para producción de flores. Instituto Tecnológico de Conkal. División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. 15 p.
- Guzmán, C., R. Pertuzé y D. Aros. 2013. Propagación vegetativa de *Junellia spathulata* a través de esquejes y estacas. Trabajo presentado al Tercer Congreso Nacional de Flora Nativa, realizado en el Campus Antumapu de la Universidad de Chile. *Simiente* 83, (1- 4):106-201.

- Hartmann, T y D. Kester. 1988. Propagación de plantas: principios y prácticas. Continental, México. 727 p.
- Henríquez, E. 2004. Evaluación de tres factores de enraizamiento en estacas de morera (*morus alba*). Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. 77 p.
- Iriarte, A., G. Lecino, C. Matias y L. Tomalino. 1999. Comportamiento higrótérmico en invierno de una cámara de propagación de plantas.
- King A. R., M. A. Arnold, D. F. Welsh and W. T. Watson. 2011. Substrates, wounding, and growth regulator concentrations alter adventitious rooting of Baldcypress cuttings. *HortScience*, 46:1387-1393.
- Luebert, F. y P. Pliscoff. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria. 316p.
- Mansilla, A. 2004. Propagación vegetativa mediante estaquillado en especies nativas de los géneros *Mutisia*, *Escallonia* y *Gaultheria*, como potenciales cultivos ornamentales. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. 13 p.
- Marambio, G. y M. Trivelli. 2013. Reseña sobre flora y vegetación de la serranía El Asiento, San Felipe, Región de Valparaíso. Servicio Agrícola y Ganadero V Región. 118 p.
- Mersey L., F. Reinoso y F. Riquelme. 2015. Experiencias en propagación y cultivo de especies de plantas andinas de ambientes zonales y azonales de la región de Antofagasta (II), Chile. *Chloris chilensis. Revista Chilena de Flora y Vegetación*, 18(1).
- Moisés O., J. Rivera-Rodríguez, J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, Á. Villegas-Monter y M. Jiménez-Casas. 2016. Enraizamiento de estacas de *Pinus patula*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(4): 382-392.
- Muñoz, A., Arroyo, M. 2006. Pollen Limitation and Spatial Variation of Reproductive Success in the Insect-pollinated Shrub *Chuquiraga oppositifolia* (Asteraceae) in the Chilean Andes. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 38(4): 608-613.
- Muñoz-Schick, M., A. Moreira-Muñoz, C. Villagrán y F. Luebert. 2000. Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile Central. [En línea]. Recuperado en: <http://publicaciones.mnhn.cl/668/articles-64447_archivo_01.pdf>.
- Niklitschek, 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. 61p.
- Pijut, P., K. Woeste and C. Michler. 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; Agroindustrias Jovisa, San Miguel Dueñas, Sacatepequez (2007-2010) estudio de caso. Trabajo presentado al consejo de Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, previo a conferírsele el Título de Ingeniero Agrónomo con énfasis en cultivos tropicales en el grado académico de Licenciado. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar. Guatemala. 66 p.

- Ramos, A. 2004. Propagación vegetativa de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. a través de estacas. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile.
- Sadhu, M. K. 1989. Plant propagation. Wiley Eastern Limited. New Delhi, India. 287 p.
- Salinas, J., V. Osvaldo, B. Acuña y E. Díaz. 2011. Protocolo de producción de siete especies nativas, con fines de restauración en la región de Aysén. Instituto Forestal (INFOR). Bosque Nativo. Producción de árboles y arbustos con fines de restauración de bosques y áreas degradadas. 82 p.
- Santelices, R. 1998. Efecto de la temperatura del sustrato sobre el arraigamiento de estacas de canelo (*Drimys winteri* J.R. et G. Forster). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule. Ingeniero Forestal, 6p.
- Schmeda Hirschmann, G., Loyola, J. L., Razmilic, I., Reyes, S., Rodríguez, J., Pacheco, P., & Teoduloz, C. (1993). La Farmacopea Mapuche, una fuente de productos biológicamente activos. *Revista Universum de la Universidad de Talca*, Chile, 8(1), 153-179.
- Sisaro, D. y J. Hagiwara. 2016. Propagación vegetativa por medio de estacas de tallo. Hurlingam, Buenos Aires, 16 p.
- 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, 64p.
- Urrestarazu, M. 2013. State of the art and new trends of soilless culture in Spain and in emerging countries. *Acta Horticulturae*, 1013: 305-312.
- Vergara, J. 2006. Comportamiento de *Fabiana imbricata* R. et P. al enraizamiento de esquejes: Épocas, reguladores de crecimiento, dosis, y descripción del crecimiento post trasplante. Tesis Doctoral. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Villagrán, C., M. Arroyo y C. Marticorena. 1983. Efectos de la desertificación en la distribución de la flora andina de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 56: 137-15

ANEXOS

I. Presencia de hojas, sobrevivencia, enraizamiento promedio (%) y error estándar por tratamiento.

| Tratamientos | Presencia de hojas | Sobrevivencia | Inducción de raíces |
|----------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
| Sin enraizante a 25 ° C | 6,00 (±0,85) | 6,33 (±0,83) | 3,67 (±0,36) |
| Sin enraizante a 20 ° C | 10,33 (±2,45) | 12,00 (±2,94) | 11,33 (±3,03) |
| Sin enraizante T° ambiente | 15,67 (±0,98) | 24,00 (±1,70) | 20,67 (±2,13) |
| Keri Root a 25 ° C | 0,67 (±0,14) | 2,00 (±0,00) | 1,67 (±0,14) |
| Keri Root a 20 ° C | 5,67 (±1,09) | 7,00 (±1,22) | 6,33 (±1,16) |
| Keri Root a T° ambiente | 15,67 (±0,36) | 24,67 (±0,68) | 24,67 (±0,68) |

II. Presencia y estado de hojas promedio (%) versus estacas enraizadas y error estándar por tratamiento.

| Tratamientos | Enraizada con hojas verdes | Enraizada con hojas secas | Hojas verdes pero sin raíces |
|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Sin enraizante a 25°C | 3,33 (±0,27) | 0,33 (±0,14) | 2,67 (±0,68) |
| Sin enraizante a 20°C | 9,67 (±2,54) | 1,67 (±0,49) | 0,67 (±0,27) |
| Sin enraizante T° ambiente | 12,33 (±1,44) | 8,33 (±0,72) | 3,33 (±0,72) |
| Keri Root a 25 °C | 0,33 (±0,14) | 1,33 (±0,14) | 0,33 (±0,14) |
| Keri Root a 20 °C | 5,00 (±1,03) | 1,33 (±0,14) | 0,67 (±0,14) |
| Keri Root a T° ambiente | 15,67 (±0,36) | 9,00 (±0,47) | 0,00 (±0,00) |

APÉNDICES

I. Análisis de la varianza: Sobrevivencia

| Variable | N | Re | ReAj | CV |
|---------------|----|------|------|-------|
| Sobrevivencia | 18 | 0,86 | 0,61 | 52,14 |

Cuadro de análisis de la Varianza (SC Tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|------------------------|---------|----|--------|-------|---------|--------------|
| Modelo | 1626,33 | 11 | 147,85 | 3,39 | 0,0731 | |
| Temperatura | 1310,33 | 2 | 655,17 | 15,74 | 0,0041 | (Temp.>Rep.) |
| Temperatura > Rep. | 249,67 | 6 | 44,61 | 0,95 | 0,5220 | |
| Temperatura*Enraizante | 28,78 | 2 | 14,39 | 0,33 | 0,7312 | |
| Enraizante | 37,56 | 1 | 37,56 | 0,86 | 0,3892 | |
| Error | 261,67 | 6 | 43,61 | | | |
| Total | 1888,00 | 17 | | | | |

Test: LSD Fischer Alfa = 0,05 DMS = 9,11302

Error: 41,6111 gl:6

| Temperatura | Medias | n | E.E. | |
|-------------|--------|---|------|---|
| ambiente | 24,33 | 6 | 2,63 | A |
| 20 | 9,50 | 6 | 2,63 | B |
| 25 | 4,17 | 6 | 2,63 | B |

Test: LSD Fischer Alfa = 0,05 DMS = 7,61747

Error: 43,6111 gl:6

| Enraizante | Medias | n | E.E. | |
|----------------|--------|---|------|---|
| Sin enraizante | 14,11 | 9 | 2,20 | A |
| Keri Root | 11,22 | 9 | 2,20 | A |

II. Análisis de la varianza: Presencia de hojas

| Variable | N | Re | ReAj | CV |
|--------------------|----|------|------|-------|
| Presencia de hojas | 18 | 0,78 | 0,37 | 62,96 |

Cuadro de análisis de la Varianza (SC Tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|------------------------|--------|----|--------|-------|---------|--------------|
| Modelo | 673,33 | 11 | 61,21 | 1,91 | 0,2212 | |
| Temperatura | 465,33 | 2 | 232,67 | 10,52 | 0,0109 | (Temp.>Rep.) |
| Temperatura > Rep. | 132,67 | 6 | 22,11 | 0,69 | 0,6690 | |
| Temperatura*Enraizante | 25,33 | 2 | 12,67 | 0,39 | 0,6903 | |
| Enraizante | 50,00 | 1 | 50,00 | 1,56 | 0,2586 | |
| Error | 192,67 | 6 | 32,11 | | | |
| Total | 866,00 | 17 | | | | |

Test: LSD Fischer Alfa = 0,05 DMS = 7,86659

Error: 22,1111 gl:6

| Temperatura | Medias | n | E.E. | |
|-------------|--------|---|------|---|
| ambiente | 15,67 | 6 | 1,92 | A |
| 20 | 8,00 | 6 | 1,92 | B |
| 25 | 3,33 | 6 | 1,92 | B |

Test: LSD Fischer Alfa = 0,05 DMS = 6,53642

Error: 32,1111 gl:6

| Enraizante | Medias | n | E.E. | |
|----------------|--------|---|------|---|
| Sin enraizante | 10,67 | 9 | 1,89 | A |
| Keri Root | 7,33 | 9 | 1,89 | A |

III. Análisis de la varianza: Inducción de raíces

| Variable | N | Re | ReAj | CV |
|---------------|----|------|------|-------|
| E. enraizadas | 18 | 0,85 | 0,56 | 61,15 |

Cuadro de análisis de la Varianza (SC Tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|------------------------|---------|----|--------|-------|---------|--------------|
| Modelo | 1599,28 | 11 | 145,39 | 3,00 | 0,0947 | |
| Temperatura | 1258,78 | 2 | 629,39 | 13,83 | 0,0057 | (Temp.>Rep.) |
| Temperatura > Rep. | 273,00 | 6 | 45,50 | 0,94 | 0,5299 | |
| Temperatura*Enraizante | 63,00 | 2 | 31,50 | 0,65 | 0,5555 | |
| Enraizante | 4,50 | 1 | 4,50 | 0,09 | 0,7710 | |
| Error | 291,00 | 6 | 48,50 | | | |
| Total | 1890,00 | 17 | | | | |

Test: LSD Fischer Alfa = 0,05 DMS = 9,52935

Error: 45,5000 gl:6

| Temperatura | Medias | n | E.E. | |
|-------------|--------|---|------|---|
| ambiente | 22,67 | 6 | 2,75 | A |
| 20 | 8,83 | 6 | 2,75 | B |
| 25 | 2,67 | 6 | 2,75 | B |

Test: LSD Fischer Alfa = 0,05 DMS = 8,03309

Error: 48,5000 gl:6

| Enraizante | Medias | n | E.E. | |
|----------------|--------|---|------|---|
| Sin enraizante | 11,89 | 9 | 2,32 | A |
| Keri Root | 10,89 | 9 | 2,32 | A |