



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**ESTUDIO DE ALGUNOS FACTORES QUE
INFLUYEN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE
Pseudotsuga menziesii (MIRB.) FRANCO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA:

KENYA ISABEL TOLEDO GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. ANDRÉS FLORES GARCÍA



ESTADO DE MÉXICO

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación "ESTRATEGIA INTEGRAL PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE BOSQUES DE *Pseudotsuga menziesii* EN EL ESTADO DE PUEBLA" realizado con el apoyo económico del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla a través del proyecto M0015-2008-1-108534.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme provisto de excelentes maestros, quienes me brindaron su conocimiento y confianza en el transcurso de mis estudios permitiendo así mi formación como profesionista.

A mi director de tesis: el **M. en C. Andrés Flores García** por su apoyo, tiempo, dedicación y cordialidad para realizar este documento y por haber depositado su confianza en mí, para elaborar este proyecto.

A mis asesores: el **M. en C. Ángel Duran Díaz** por su amistad y gran enseñanza desde el inicio de la carrera e invaluable apoyo en los consejos y orientaciones sobre el análisis estadístico de este documento, al **M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno**, la **Dra. Silvia Romero Rangel** y la **M. en C. Josefina Vázquez Medrano** por sus valiosas sugerencias y orientaciones al escrito.

DEDICATORIAS

A mis padres: que han estado conmigo todo el tiempo de mi vida, por ser mi principal base y guías en este largo camino, por sus consejos y apoyo incondicional, sin duda fueron el motor principal para realizar este gran logro "LOS AMO"

A mis hermanos: Naxhieeli y Norberto por que de manera indirecta también participaron en la realización de este sueño que tuve desde pequeña.

A mi abuelita Isabel: Por haberme acompañado en este camino desde el inicio de mis estudios en los que se desvelaba conmigo para ayudarme a la tarea.

A mis amigos: Adrian Palma, Carmen Torres, Claudia Aguilar, Edith Martínez, Jahir Zamora, Juan Ruiz, Karina Trinidad, Liliana Jacobo, Víctor Jiménez con quienes inicié esta aventura, en el que nos apoyamos y que juntos sufrimos la dificultad de trabajar y terminar la licenciatura y que aunque a veces hemos estado lejos siguen siendo mis amigos incondicionales e inseparables.

A Hugo Zaldivar: que me acompañó en todo el proceso de la tesis siempre dispuesto a apoyarme en todo lo que pudo, a Karina e Irvin que también me ayudaron en diversas ocasiones a la evaluación de las estacas y algunas tareas dentro del invernadero "mil gracias".

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Distribución de la especie.....	3
2.2. Taxonomía.....	5
2.3. Descripción botánica.....	5
2.4. Importancia y usos.....	8
2.5. Propagación por estacas.....	8
2.6. Importancia.....	9
2.7. Tipos de estacas.....	9
2.8. Factores que influyen en la generación de raíces adventicias.....	11
2.9. Sustancias promotoras del enraizamiento.....	12
2.10. Métodos de aplicación.....	14
2.11. Condiciones adecuadas para la propagación.....	15
3. ANTECEDENTES.....	17
4. JUSTIFICACIÓN.....	19
5. OBJETIVOS.....	20
5.1. Objetivo general.....	20
5.2. Objetivos específicos.....	20
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
6.1. Instalaciones.....	21
6.2. Ensayos.....	21
6.3. Recolección y manejo de material vegetal.....	23
6.4. Preparación de estacas.....	25
6.5. Preparación de medio de crecimiento.....	26
6.6. Preparación y aplicación de auxinas.....	26
6.7. Establecimiento y cuidados.....	27
6.8. Diseño experimental y análisis estadístico.....	27
7. RESULTADOS.....	29
8. DISCUSIÓN.....	51
9. CONCLUSIONES.....	69
10. RECOMENDACIONES.....	70
11. BIBLIOGRAFÍA.....	71



RESUMEN

Se evaluó la capacidad de enraizamiento de estacas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb. Franco, obtenidas de plantas madres procedentes de bosque natural menores a un metro de altura y arboles de 1.5 años de edad provenientes de un vivero forestal, el experimento se instaló en un invernadero con sistema de riego por nebulización y ventilación sin calentamiento basal, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Coyoacán, México, D.F. Utilizando como medio de crecimiento agrolita y peatmoss en razón 2:1, se establecieron 10 ensayos independientes en las cuatro épocas del año, para evaluar el efecto de algunos de los factores que intervienen en el enraizamiento de estacas, probando diferentes dosis de ANA, AIB y AIA. La duración de cada ensayos fue de cuatro meses.

Los experimentos se establecieron, de manera independiente, mediante un diseño completamente al azar, con 13 tratamientos y cinco repeticiones cada uno. Las variables medidas fueron: sobrevivencia (viva o muerta), presencia-ausencia de callo y presencia-ausencia de raíz. El análisis estadístico evaluó los efectos que tuvieron los tratamientos aplicados.

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos pero se logró obtener la mayor tasa de sobrevivencia (100 %) con la aplicación de los productos comerciales Radix 3,000 y 10,000 ppm. Tampoco se observó un claro efecto de las auxinas con respecto a la presencia de callo ya que solo se pudo inducir la formación de callo en algunas estacas durante la época de invierno y otoño. Se encontró que la mejor época para la sobrevivencia de las estacas fue durante el verano.

La estación de invierno fue la mejor época para la producción de raíz, ya que las estacas correspondientes a primavera, verano y otoño no lograron emitir raíces. Los efectos producidos en el enraizamiento no fueron significativos, sin embargo las estacas con mayor número de raíces correspondieron a los tratamientos ANA 1,000 y AIB 500 ppm.



1. INTRODUCCIÓN

Los bosques de coníferas de México, en el contexto nacional e internacional, son sumamente importantes ya que albergan parte de la biodiversidad y proveen de recursos a una importante cantidad de la población, principalmente rural e indígena. Muchas de las comunidades que se benefician de estos subsisten gracias al manejo de especies comestibles, silvestres, medicinales, combustibles y de construcción, que les permiten llevar una vida autónoma y satisfacer sus necesidades básicas (Merino, 1997; Aguilar, 2007).

Una de las especies que corresponde a este ecosistema es *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. A nivel mundial se considera de gran interés debido a su amplia distribución, superficie plantada en varios países y el beneficio económico que genera por la producción de madera (Domínguez, 2004; Juárez, 2006). No obstante, en nuestro país no es así ya que ocupa pequeñas extensiones, aunque si tiene valor por su riqueza ecológica y genética al estar en hábitats específicos de cañadas situadas a más de 2,500 msnm. Se distribuye principalmente en la parte norte de la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental, y poco en la zona este del Eje Volcánico Transversal y en la Sierra Madre del Sur (Martínez, 2007).

El cambio climático asociado con el calentamiento posterior a las glaciaciones forzó a las poblaciones de *Pseudotsuga* ha moverse hacia el norte a mayores elevaciones en las montañas. En este proceso de contracción algunas de ellas quedaron atrapadas, sin posibilidad de emigrar a otros sitios, lo que ocasionó una alteración importante en su ubicación por lo que en México existen en forma de manchones pequeños y aislados (Cruz, 2008). Al considerar éste aislamiento y fragmentación la situación actual de *P. menziesii* es crítica, ya que existen diversos factores antropogénicos como el cambio de uso de suelo, aprovechamientos clandestinos, sobrepastoreo, incendios y la cosecha desordenada de semilla que ponen en riesgo la permanencia y supervivencia de los rodales en el centro de la república (Domínguez, 1994; Ventura, 2009); es por ello que el género está sujeto a protección especial dentro de la Norma Oficial NOM-059-ECOL-2002 (Diario Oficial de la Federación, 2002). Desafortunadamente las acciones de manejo forestal para implementar un plan que encamine adecuadamente



su reproducción y preservación son escasas e inconstantes, por parte del gobierno y otras instituciones no gubernamentales, de continuar con este problema en un futuro cercano podría entrar en la categoría de "en peligro de extinción" e impactarse negativamente en su recuperación.

Hoy en día existen alternativas que podrían ayudar a revertir esta problemática, con ayuda de la reproducción vegetativa. Una de las principales técnicas de interés para el silvicultor es el enraizamiento de estacas, ya que es una herramienta muy útil y necesaria para mejorar la calidad y acortar los tiempos de los ciclos de producción (Ventura, 2009). Además, es un instrumento importante de apoyo para el desarrollo de programas de mejoramiento genético forestal encaminados a establecer huertos semilleros clonales, multiplicar individuos de alto valor genético con la finalidad de propagarlos masivamente, y conservar algún genotipo valioso de alto valor económico o en peligro de extinción (Prieto, 1992; Aparicio, 2009).

Actualmente los trabajos realizados sobre la propagación asexual de esta especie son muy escasos, por lo que es necesario continuar con este tipo de investigaciones para generar mayor información sobre las condiciones y tratamientos más adecuados para su multiplicación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Distribución de la especie

El género *Pseudotsuga* mundialmente se localiza en América del Norte en los estados de California, Washington y Oregón (Estados Unidos), Columbia Británica (Canadá) y regiones del sureste de Asia como: China, Taiwan y Japón (De León, 1997; Vásquez, 2004).

En México se encuentra en diferentes localidades de la Sierra Occidental en los estados de Sonora, Coahuila, Durango, Zacatecas y Chihuahua, donde alcanza la mayor parte de su área de distribución (Figura 1). Así como en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León y Tamaulipas, y hacia el Sur del país en la región Oriental del Eje Neovolcánico en Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y áreas muy limitadas del estado de Veracruz (De León, 1997).



Figura 1. Mapa de la distribución de *Pseudotsuga menziesii* en Norteamérica (Tomado de Zaldivar, 2011).



2.2. Taxonomía

Las especies de *Pseudotsuga* reportadas para la República son: *P. flahaulti*, *P. guineri*, *P. macrolepis* y *P. rehderi* (Vásquez, 2004; Reyes, 2005).

Vásquez (2004) indica que *P. macrolepis* es la misma que *P. menziesii* var. *glauca* y está ubicado dentro de las siguientes categorías:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Phylum: Coniferophyta

Clase: Pinopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: *Pseudotsuga*

Especie: *Pseudotsuga menziesii*

Nombre científico: *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *glauca* (Beissn.) Franco en México.

2.3. Descripción botánica

Nájera (1990), De León (1997) y Vásquez (2004) hacen una descripción botánica del género basada en reportes de Estados Unidos y Canadá, la cual queda de la siguiente manera:

Hábito

Árbol de porte grande siempre verde con altura de 12 a 40 m y diámetro entre los 35 y 70 cm. La copa es compacta de forma piramidal en arbolado viejo y cónica en arbolado joven. Las ramas están dispuestas irregularmente o en forma subverticilada, extendidas y algo levantadas.



Corteza

Es de color grisáceo por fuera y rojizo anaranjado por dentro, de 15 a 25 mm de espesor, áspera y hendida, dividida en pequeñas placas irregulares. Al interior se ve formada por zonas duras amarillentas, y otras oscuras que están irregularmente dispuestas.

Ramillas

Más o menos extendidas y colgantes de color moreno ceniciento a rojizo. La superficie presenta pelillos claros y muy pequeños.

Hojas

Son delgadas, rectas y lineares. Las inferiores subdísticas y las de la parte superior están orientadas en todas direcciones. En general miden de 15 a 25 mm de largo, de color verde claro y a veces algo amarillento, glauco en la cara inferior. El ápice es obtuso o agudo y en algunas ocasiones redondeado, su base es torcida; tiene una hendidura longitudinal en la cara superior que llega hasta la extremidad y una cresta poco saliente en la cara inferior. Los estomas forman 7 a 12 hileras en cada lado de la cresta. Son persistentes y duran en el árbol de 5 a 8 años.

Yemas

Son alargadas de formas ovoides y acuminadas, protegidas por brácteas de color castaño hacia la base y claro hacia el ápice, y miden de 8 a 10 mm de largo.

Escamas

Son subróbicas, a veces suborbiculares, cóncavas, estriadas en la cara externa, grandes y gruesas, y miden unos 25 mm de alto por 20 a 24 de ancho.

Brácteas

Miden 27 a 30 mm de largo por 5 de ancho. Con la punta central que sobresale unos 5 mm. Las laterales no salientes o apenas salientes con el borde rasgado hacia la parte superior. En lo general son derechas, pero en ocasiones —y sobre todo en ejemplares viejos— se observan reflejadas hacia la base del cono.



Semilla

Vagamente ovoide o subtriangular. De 5 a 7 mm de largo por 3.6 de ancho. Aplanada en una cara y convexa en la otra donde queda envuelta por la base del ala. Su color es moreno opaco en la cara plana y castaño en la convexa. El ala es de 15 a 16 mm. de largo incluyendo la semilla y su color es castaño claro. Las hojas cotiledoneas son seis.

Estróbilos

Monoicos. Los masculinos son de color rojo-anaranjado arreglados axilarmente, cilíndrico-oblongos, caedizos de aproximadamente 10 mm de largo y están protegidos por brácteas traslucidas de color castaño. Los estróbilos femeninos son terminales y axilares, de color verde rojizo y protegidos por escamas provistas de grandes brácteas; en la base de cada escama hay óvulos.

Estróbilos maduros

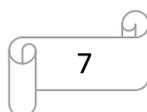
Son conos colgantes, leñosos, oblongo-ovoides, solitarios, caedizos, posados en pedúnculos cortos y miden de 3 a 8 cm de largo y 3 a 4 cm de ancho; maduran en la misma estación. Escamas persistentes, delgadas, coriáceas, redondeadas en el ápice y ensanchadas hacia los lados, y convexas y estriadas hacia afuera. Presentan una bráctea trifida. Las semillas en el ápice son estériles con menos de 6 mm de largo, redondeadas y con un ala terminal de 10 a 15 mm de largo incluyendo la semilla.

Madera

Es casi blanca, dura, de media calidad y se usa para construcciones.

Reproducción

La más común es sexual. Las semilla germinan sobre cualquier medio de crecimiento que les proporciones humedad y temperatura adecuada. Respecto a la reproducción vegetativa, la especie no tiene la capacidad de rebrotar de raíces o tocones. Sin embargo, se ha podido enraizar exitosamente en arena y otros medios con hormonas.





2.4. Importancia y usos

En Estados Unidos y Canadá, es una de las especies de más alto valor comercial, produce madera de aserrío en grandes dimensiones, se emplea en la construcción de edificios, embarcaciones, muelles, estructuras de brazos cruzados, duelas, y fabricación de lambrín, marcos de ventanas, tanques, cajas para empaque, y abateleguas; además, su pulpa es considerada de alta calidad en la elaboración de papel (Domínguez, 1986; Nájera, 1990; De León, 1997). Su corteza es empleada en la extracción de taninos para curtir pieles y por su estructura es ampliamente utilizada como árbol ornamental (Acevedo, 1998). También ofrece una excelente capacidad de soporte y resistencia al viento, tormentas y terremotos (Vásquez 2004). Se han realizado plantaciones comerciales para la producción de madera en países de Sudamérica, Europa y Oceanía (Velasco, 2007). En nuestro país, su uso se restringe debido a lo complicado de su distribución y por lo tanto esta especie no se aprovecha de la misma forma que en otros países, pero cabe mencionar que actualmente se considera para venderse como árbol de navidad.

2.5. Propagación por estacas

Consiste en cortar partes vegetales como brotes, ramas o raíces de una planta, las cuales se colocan en una cama enraizadora con el fin de lograr la emisión de raíces y brotación de la parte aérea hasta obtener una nueva (Rojas, 2004). Dicha capacidad depende de dos características fundamentales. La primera es la totipotencia, que significa que cada célula vegetal viviente contiene la información genética necesaria para reconstruir todas las partes de la planta y sus funciones (Berner, 2004), pero no se produce recombinación de genes y los organismos obtenidas serán idénticos a la planta madre (Queupumil, 2004). La segunda es la desdiferenciación o capacidad que presentan las células maduras de volver a una condición meristemática y desarrollar un punto de crecimiento nuevo (Berner, 2004). En la multiplicación a partir de estacas las raíces desarrolladas se denominan raíces adventicias (Inzunza, 2007).



2.6. Importancia

Según Ramos (2004b) e Inzunza (2007), este método de propagación es de los más utilizados a nivel práctico en el mundo por poseer gran importancia económica. Berner (2004) asegura que la principal economía de la propagación vegetativa proviene de la eliminación de la fase juvenil y del acortamiento del tiempo necesario para llegar a la madurez productiva.

Esta utilidad es particularmente importante en la propagación comercial de árboles frutales, ornamentales y de importancia forestal (Hartmann y Kester, 1987; Ramos, 2004b). Algunas ventajas de este tipo de reproducción son: permite reproducir especies de difícil propagación por semillas, es más rápido, son más resistentes a enfermedades y virus, se pueden propagar en años de baja o nula producción de semilla cuando la recolección de semillas forestales de algunos árboles presenta dificultad en su germinación, evita periodos juveniles prolongados, permite obtener las mismas características fenotípicas y genotípicas de la planta madre y hay control sobre la forma de crecimiento (Berner, 2004, Inzunza, 2007).

Sin embargo, las coníferas no son fáciles de propagar por este medio debido a discrepancias en los factores fisiológicos por: variaciones genéticas en la capacidad de enraizamiento, edad del material vegetativo, diferencias de enraizamiento entre los esquejes de una misma planta, crecimiento plagiotrópico, condiciones ambientales, época de colecta, sustrato empleado, tamaño y posición de las estacas en la planta y tratamientos aplicados (Gerding, 1996; Aparicio, 2008).

2.7. Tipos de estacas

Prieto (1992) indica que la selección del tipo de estacas depende, en gran parte, de la especie, parte de la planta de que procede, longitud de los brotes, distancia entre nudos del material a propagar, facilidades de propagación disponibles, número de estacas requeridas y características del medio de enraizamiento. Por lo que las clasifica como:



Estaca simple o nodal

Se refiere a los brotes jóvenes que son cortados justo abajo del nudo, en muchos casos se llegan a utilizar brotes nuevos, caracterizados porque apenas van a emitir una yema nueva. El tamaño varía en las coníferas entre los 10 y 17.5 cm.

Estaca basal

Su particular principal es que la base está firmemente lignificada, sin que ello implique que hayan completado la fase de maduración de la madera.

Estaca internodal

El empleo de estas se puede realizar en especies que son fáciles de enraizar, que tienen entrenudos muy cortos y poseen una gran cantidad de hojas; el corte puede hacerse en cualquier lugar, debido a la dificultad que implica localizar el nudo.

Estaca con nudo sencillo

Consiste en un brote joven o tierno, que tiene una o dos yemas y hojas, el cual está unido a una sección de tallo (de madera vieja, producto del crecimiento del año anterior) y de tamaño similar al brote. La sección del tallo se entierra en el medio de enraizamiento. Es importante que las yemas axilares se conserven vivas.

Estaca con doble nudo

El corte se hace justo abajo del nudo, en lugar de hacerlo en los entrenudos, y cada estaca puede tener un par de yemas opuestas.

Estaca de talón

Tiene en la parte basal una pequeña porción de madera vieja, originada del crecimiento del periodo anterior, como producto del rasgado de la ramilla.



2.8. Factores que influyen en la generación de raíces adventicias

Edad de la planta madre

El factor juvenilidad de la planta madre es determinante en la obtención de un gran porcentaje de enraizamiento de estacas. Si las estacas de tallos son tomadas en la fase de desarrollo juvenil del crecimiento con frecuencia forman nuevas raíces con mayor facilidad, que aquellas tomadas en la fase adulta (Hartmann y Kester, 1987; Queupumil, 2004; Ramos, 2004b). Este carácter persiste en las áreas basales y las ramas basales de un árbol, lo que posibilita su empleo para la multiplicación vegetativa (Berner, 2004).

Es posible entre otros factores que ésta reducción del potencial de enraizamiento con la edad sea resultado de la disminución del contenido de compuestos fenólicos, que actúan como cofactores de las auxinas en la iniciación de las raíces (Hartmann y Kester, 1988; Queupumil, 2004; Ramos, 2004b).

Estado nutricional de la planta madre

Es uno de los aspectos que determina en gran medida la obtención de raíces adventicias. La elección del material adecuado para estacas, en cuanto al contenido de carbohidratos, puede hacerse por la estructura y forma del tallo. En aquellos que son pobres estos compuestos son suaves y flexibles, mientras que en los ricos son macizos y rígidos y se rompen antes de doblarse. Sin embargo, esta condición puede ser confundida con la macices debido a la madurez de los tejidos (Queupumil, 2004). Otro factor importante es el contenido de agua del material vegetal que debe estar turgente, ya que se reduce el enraizamiento en esquejes que sufren carencia de agua (Berner, 2004).

Sección de la planta madre

Este efecto es de suma importancia. Las diferencias de enraizado según la posición de la estaca en el árbol puede deberse a una distribución desigual de hormonas vegetales y de reservas nutritivas en las diferentes partes de la planta. En ciertas especies las que son cortadas de ramas laterales con frecuencia tienen un porcentaje de enraizamiento



mayor que aquellas tomadas de ramas terminales fuertes y vigorosas (Hartmann y Kester, 1987; Ramos, 2004b).

Época del año

Para algunas especies la época de recolección es determinante en el proceso de enraizamiento. Muchas especies de difícil enraizamiento presentan mejores resultados al recolectar las estacas en breves períodos de primavera. Sin embargo, cuando se presentan problemas de enraizamiento deben hacerse pruebas para determinar cuál es la mejor época de extracción para cada especie (Hartmann y Kester 1987; Ramos, 2004b).

2.9. Sustancias promotoras del enraizamiento

El propósito de tratar las estacas con reguladores del crecimiento es aumentar el porcentaje de enraizamiento, reducir el tiempo de iniciación de raíces y mejorar la calidad del sistema radical formado (Mesén, 1998). Varias clases de éstos como las auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico y etileno influyen en la formación de raíces. De ellos, las auxinas son las que ejercen mayor efecto en la formación de raíces en las estacas (Berner, 2004). Estas hormonas son fabricadas por las plantas y sintetizadas en un determinado lugar de la planta que se translocan a otro donde actúan a muy bajas concentraciones, regulan el crecimiento, desarrollo, reproducción y otras funciones de las plantas (Rojas, 2004).

Entre otros fenómenos fisiológicos, poseen la propiedad particular de estimular la extensión de la pared celular acompañada de entrada de agua a la célula y como consecuencia inducen alargamiento celular (Rojas, 2004). La función o modo de acción se sitúa principalmente a nivel de las membranas celulares donde se modifican la permeabilidad de esta y se lleva a cabo una modificación del funcionamiento celular que activa su metabolismo. Lo cual tiene efecto sobre la división y crecimiento celular, la atracción de nutrientes y de otras sustancias al sitio de aplicación (Rojas, 2004).



Principales auxinas de enraizamiento

Los productos más utilizados para favorecer el enraizamiento en estacas son las auxinas sintéticas o ácidos orgánicos, tales como el ácido indolbutírico (IBA), el ácido naftalenacético (ANA) y en menor grado el ácido indol-acético (AIA). En razón a su actividad fisiológica se le ha dado el nombre de hormonas auxinas de síntesis, por su analogía con las hormonas naturales, pero es preferible designarlas con el nombre de sustancias reguladoras de crecimiento (Ramos, 2004b).

Ácido Indolbutírico (AIB)

En la mayoría de las especies ha demostrado ser más efectiva que cualquier otra y es actualmente la de mayor uso como sustancia promotora de enraizamiento. Es más estable, pasa rápidamente en los diferentes tejidos de la planta y al ser menos soluble en agua permanece más tiempo en el sitio de aplicación donde puede ejercer un mayor efecto (Mesén, 1988).

Ácido Naftalenacético (ANA)

Posee las mismas ventajas de estabilidad que el AIB, pero también es más tóxico que este y deben evitarse las concentraciones excesivas ya que pueden provocar algún daño en las plantas (Suarez, 1986; Mesén, 1998).

Ácido Indol-acético (AIA)

Es una de las principales auxinas que se encuentra en las plantas. Por lo común, el nivel del AIA en los tejidos varía según la etapa de desarrollo del vegetal (Suarez, 1986). Aunque es muy activo presenta en la práctica dos inconvenientes: a) su molécula se destruye fácilmente por oxidación y es poco estable lo cual reduce su efectividad, y b) es relativamente soluble en agua por lo que es fácilmente lavado del sitio de aplicación y deja de ejercer su efecto (Mesén, 1998).



2.10. Métodos de aplicación

Las auxinas pueden ser aplicadas de varias formas, pero en general, los métodos más utilizados son mediante polvo en mezcla con talco neutro, la inmersión rápida en soluciones concentradas, remojo en soluciones acuosas diluidas y, exclusivamente para fines experimentales la aplicación con microjeringa (Mesén, 1998).

Mezclas en polvo

Se preparan al mezclar la auxina pura con talco neutro en la concentración deseada o se pueden obtener ya elaboradas de manera comercial. Tienen las ventajas de que son fáciles y rápidas de utilizar. Basta con introducir la base humedecida de la estaca en el polvo, sacudir el exceso e introducir la estaca inmediatamente en el medio de propagación. Al utilizar este método se deben tomar pequeñas cantidades del producto y colocarse en un recipiente aparte que se utilizará para aplicar el tratamiento. Cualquier sobrante debe ser desechado pues si se introduce de nuevo al recipiente original puede contaminar el producto y acelerar su deterioro (Mesén, 1998).

Inmersión rápida

Consiste en introducir la base de la estaca en una solución con la auxina, por algunos segundos o minutos, e inmediatamente insertarla en el medio de propagación. Esta técnica es rápida y permite tratar varias estacas a la vez (Mesén, 1998).

Remojo prolongado

Se introduce la base de las estacas en soluciones acuosas diluidas de la auxina varias horas (2-24 h) y luego se coloca en el medio de propagación. Aunque la técnica permite tratar gran cantidad de estacas a la vez, es poco utilizada por ser lenta e impráctica (Mesén, 1998).



Método de la microjeringa

Consiste en aplicar una pequeña cantidad constante y conocida (ej. 10 μ l) de solución a la base de las estacas mediante el uso de microjeringas y permite controlar exactamente la cantidad y dosis aplicada a diferentes estacas. Sin embargo, el método es lento e impráctico y por lo tanto no se utiliza en operaciones comerciales (Mesén, 1998).

2.11. Condiciones adecuadas para la propagación

Es necesario que las estacas enraícen en condiciones ambientales y que mantengan la mínima pérdida de agua. Se les hace enraizar bajo aspersiones de niebla intermitentes o en climas fríos y húmedos (Queupumil, 2004).

Medio de enraizamiento (sustrato)

Debe contener capacidad de retención de agua, buen drenaje y abundante porosidad para generar una atmósfera, la cual ceda el oxígeno que necesitan las células de la estacilla durante una rápida multiplicación. El tipo de sustrato tiene influencia en las raíces y esta diferencia es debida a la distinta capacidad para contener aire y humedad (Queupumil, 2004). Entre los numerosos tipos están los orgánicos (turba, tierra de hoja, aserrín, cáscara de arroz, etc.) y los de tipo mineral (arena y arcillas expandidas como la perlita y vermiculita) (Ramos, 2004b).

Humedad del sustrato

Este es un factor importante en la sobrevivencia de la estaca y fácilmente controlable al conocer los requerimientos de la especie así como las características de drenaje que presenta el suelo, ya que un exceso o falta de humedad son limitantes en el desarrollo radicular (Queupumil, 2004).

Humedad ambiental

Debe mantenerse alta; entre 70 y 80% aproximadamente para evitar la deshidratación del material vegetal (Ramos, 2004). La presencia de hojas en las estacas favorece el enraizamiento, pero la pérdida de agua por ellas (evapotranspiración) reduce su contenido hasta un nivel que puede provocar su muerte antes de que enraícen. Se



debe cuidar la hidratación de los tejidos, debido a que estas al no poseer un sistema radicular se ven imposibilitadas para absorber agua desde el suelo y por el hecho de tener una masa foliar se evapora a través de ellas (Queupumil, 2004). Para este fin existen varias alternativas donde se destacan el sistema de neblina, el cual aumenta la humedad relativa al mantener una película de agua sobre las hojas y reduce la temperatura del aire, lo que permite disminuir la tasa de transpiración de la planta (Berner, 2004).

Temperatura del ambiente y del sustrato

Queupumil (2004) y Ramos (2004b) señalan que la temperatura ambiental óptima de enraizamiento de estacas varía según la especie. Para la mayoría de ellas son satisfactorias temperaturas diurnas de unos 21° a 27°C y temperaturas nocturnas de 15°C, aunque ciertas especies enraízan mejor a temperaturas más bajas. En términos generales, el número de raíces por estacas, el porcentaje de enraizamiento y la velocidad de formación de raíces son incrementadas con el aumento de temperatura.

Las temperaturas del sustrato deben fluctuar entre los 20 y 25°C, ya que esto influye sobre la actividad biológica del suelo. Las bajas temperaturas interrumpen el desarrollo de las raíces. Y las altas temperaturas pueden limitar gravemente el crecimiento de la raíz y quemar la base de las estacas (Queupumil, 2004).

Luminosidad

En todos los tipos de crecimiento y desarrollo de las plantas la luz es de importancia primordial como fuente de energía para la fotosíntesis (Ramos, 2004b). La duración e intensidad debe permitir la acumulación de carbohidratos mayor a los consumidos en la respiración. La luz al actuar sobre los estomas regulan el proceso de cierre y apertura y lo hace también sobre la transpiración, lo que la sitúa a este factor junto con la temperatura como los más importantes (Queupumil, 2004).

Sistemas de riego

El riego tiene por objetivo satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos al aplicar el agua en una distribución uniforme y eficiente. Entre ellos se encuentran: por goteo, microyeteo, microaspersión, cinta y exudación (Queupumil, 2004).



Fungicidas

Normalmente el material utilizado para la propagación de plantas presenta algún grado de contaminación, especialmente con hongos. Por ello es indispensable desinfectar antes del tratamiento con reguladores de crecimiento. Durante el enraizamiento y el período siguiente las estacas están expuestas a ataques de diversos microorganismos. Los tratamientos con fungicidas prestan cierta protección y conducen tanto a una mayor supervivencia como a una mejor calidad de raíces (Ramos, 2004b).

3. ANTECEDENTES

Pérez (1983), probó 3 fitoreguladores comerciales: Folistín, Culbac y Radix 10, 000 ppm., en estacas de Thuja de 4 años de edad, utilizando Agrolita como sustrato. Al evaluar el porcentaje de enraizamiento se encontró que las estacas tienen igual probabilidad de enraizar con cualquiera de los 3 productos, aunque el Ácido Indol 3-butírico (AIB) fue el mejor promotor de raíces.

Alvarez *et al.* (2004) probaron la aplicación de ácido indolacético (AIA) a tres concentraciones: 0, 1,000, 1,500 y 2,000 mg.l⁻¹, en *Chrysophyllum cainito*, evaluando técnicas de acodo e injertación, encontrando mejor efecto en el grosor del callo y número de raíces con la aplicación de AIA a 2000 mg.l⁻¹.

Queupumil (2004), evaluó dos sistemas de riego Microjet y Goteo, con la utilización de dos sustratos (turba y tierra-arena), en la propagación vegetativa por estacas de *Drimys winteri*, Forst (Canelo), bajo condiciones de invernadero durante 3 meses y 15 días, con aplicación de ácido naftalenacético (ANA) en su base, concluyendo que es posible propagar en forma vegetativa esta especie a inicios de primavera o salidas de la época invernal y que la regeneración de raíces fue influenciada más por el sistema de riego que por el tipo de sustrato.

Ramos (2004), realizó un estudio de propagación vegetativa a través de estacas de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. obtenidas de plantas madres clonadas y originadas a partir de semillas de 2.5 años de edad, en un invernadero convencional. El estudio tuvo una duración de 14 meses, se aplicó ácido naftalenacético (ANA) al 0.4%,



obteniendo un porcentaje de enraizamiento promedio de 81.94 %. En general, las estacas extraídas de plantas madres provenientes de semilla plus A, B y C enraizaron satisfactoriamente, mientras que las estacas extraídas de material clonal sólo alcanzaron porcentajes de enraizamientos promedio por bajo el 50 %.

Abedini (2005), obtuvo la formación de raíces de *Parkinsonia aculeata* L (cinacina) tratada con siete concentraciones diferentes de dos reguladores de crecimiento (ácido indol-3-butírico (AIB) y ácido naftalen acético (ANA). La formación de raíces se logró en porcentajes de 41% y 38%, respectivamente.

Bonfil *et al.* (2006), realizó un estudio sobre la producción de callos y raíces en estacas de 7 especies de *Bursera* en respuesta a la aplicación de ácido indolbutírico (AIB) en polvo (1,500 y 10,000 ppm). Las estacas se mantuvieron por cuatro meses en bolsas con un sustrato de arena, tierra negra y composta en un vivero rural, al aire libre sin control de humedad atmosférica. El porcentaje de formación de callo fue alto (27-85%) en seis especies. Estos resultados indicaron que aunque es una especie de difícil enraizamiento, su propagación es factible utilizando tecnología de bajo costo.

Santelices (2007), estudió el efecto del ácido indolbutírico (AIB) en diferentes concentraciones (0, 0.5, 1.5%) y de la presencias de hojas en el arraigamiento de estacas *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, cosechadas en dos épocas diferentes. Los resultados indicaron que con aquellas estacas de tallo provenientes de rebrotes colectadas en noviembre y tratadas con AIB al 1.5% fue posible obtener un 66.7 % de arraigamiento, concluyendo que la presencia de hojas es fundamental para asegurar la supervivencia y el proceso de rizogénesis en las estacas.

Latsague *et al.* (2008), indujeron el enraizamiento en estacas de *Berberidopsis corallina* con ácido indolbutírico, en diferentes concentraciones (0, 500, 1,000 y 1,500 mg L⁻¹), encontrando que la concentración de AIB de 1,000 mg L⁻¹ mostró los mejores resultados respecto al proceso de rizogénesis con un 90% de enraizamiento, además de encontrar el mayor promedio de longitud de raíces en este mismo tratamiento (13.64 cm). El mayor número de raíces lo obtuvieron con el tratamiento 1,500 mg con un valor promedio de 38.11 raíces por estaca; concluyendo que *B. corallina* puede ser reproducido vegetativamente a través de la rizogénesis de estacas tratadas con AIB.



Aparicio *et al.* (2006), realizaron un estudio de Multiplicación de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa a través del enraizamiento de estacas tratadas con 2 productos comerciales (radix 10,000 y rhizopon AA # 3), utilizando estacas de 10 cm de largo sin acículas en la parte basal, encontrando resultados muy bajos: rhizopon 20% y radix 11%; en otro ensayo estacas de 5 cm que conservaron las acículas tratadas con rhizopon AA # 3, obtuvieron resultados de hasta el 100%.

Aparicio *et al.* (2008), lograron enraizar estacas de *Pinus jaliscana* con resultados del 90%, empleando material juvenil de setos, lo que ofrece una alternativa para la clonación de pinos. Evaluó el establecimiento de setos para la producción de estacas y la capacidad de enraizamiento de estacas tratadas con y sin hormonas.

Aparicio *et al.* (2009), examinaron la capacidad de Cipres (*Austrocedrus chilensis*), para propagarse asexualmente por enraizado de estacas. Analizando la influencia de auxinas exógenas (ANA y AIB), la estación de colecta, estadio ontogénico de las plantas donantes, de la estación de injerto y del tipo de púa. La capacidad de enraizado fue muy pobre, tanto para *ortets* adultos (promedio= 0,27%) como para juveniles (promedio = 2,10%).

4. JUSTIFICACIÓN

Debido a que *Pseudotsuga menziesii* presenta baja capacidad reproductiva de sus individuos, reducidos porcentajes de germinación para su propagación por semilla y escasa superficie forestal en el país; es necesario incrementar sus poblaciones a través de estrategias que garanticen su permanencia. El uso de técnicas de propagación vegetativa, como el enraizamiento de estacas, son una alternativa que permite la producción de germoplasma de difícil reproducción sexual de manera rápida, viable y efectiva.



5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

- ❖ Evaluar la respuesta de algunos factores que intervienen en el enraizamiento de estacas de *Pseudotsuga menziesii*.

5.2. Objetivos específicos

- Evaluar las respuestas de sobrevivencia y producción de callo mediante la aplicación de diferentes dosis de fitohormonas.
- Evaluar el efecto de enraizamiento de estacas ante la aplicación de diferentes tratamientos.
- Analizar la relación que existe entre la producción de callo y la producción de raíces adventicias.
- Comparar las respuestas de los tratamientos en diferentes estaciones del año.



6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Instalaciones

La presente investigación se realizó en el invernadero de Plantaciones y Sistemas Agroforestales del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ubicado en la Delegación Coyoacán, México, D.F. Este cuenta con sistema de riego por nebulización y ventilación para la regulación de la humedad y temperatura.

6.2. Ensayos

Se establecieron 10 ensayos independientes (Cuadro 1, 2 y 3), en las cuatro épocas del año, para evaluar el efecto de algunos de los factores que intervienen en el enraizamiento de estacas. La duración de los ensayos fue de 4 meses cada uno y todos fueron establecidos en el 2010 (Cuadro 4).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en los ensayos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 y 9 para el enraizamiento de estacas de *Pseudotsuga menziesii*.

Tratamiento	Concentración de auxina (mg l ⁻¹)
1	Testigo
2	AIB 1,500 (aplicado por 15 min.)
3	AIB 1,000 (aplicado por 15 min.)
4	AIB 500 (aplicado por 15 min.)
5	ANA 1,500 (aplicado por 15 min.)
6	ANA 1,000 (aplicado por 15 min.)
7	ANA 500 (aplicado por 15 min.)
8	AIA 1,500 (aplicado por 15 min.)
9	AIA 1,000 (aplicado por 15 min.)
10	AIA 500 (aplicado por 15 min.)
11	Radix 3,000 (aplicado por 15 min.)
12	Radix 3,000 (aplicado por contacto)
13	Radix 10,000 (aplicado por contacto)



Cuadro 2.- Tratamientos aplicados para el ensayo 6 para el enraizamiento de estacas de *Pseudotsuga menziesii*.

Tratamiento	Concentración de auxina (mg l ⁻¹)
1	Testigo
2	AIB 1,000 (aplicado por 15 min.)
3	AIB 500 (aplicado por 15 min.)
4	ANA 1,000 (aplicado por 15 min.)
5	ANA 500 (aplicado por 15 min.)
6	AIA 1,000 (aplicado por 15 min.)
7	AIA 500 (aplicado por 15 min.)
8	Radix 3,000 (contacto)
9	Radix 10,000 (contacto)

Cuadro 3.- Tratamientos aplicados en el ensayo 10 para el enraizamiento de estacas de *Pseudotsuga menziesii*.

Tratamiento	Concentración de auxina (mg l ⁻¹)
1	Testigo
2	AIB 3,000 (aplicado por 15 min.)
3	AIB 1,500 (aplicado por 15 min.)
4	AIB 1,000 (aplicado por 15 min.)
5	AIB 500 (aplicado por 15 min.)
6	ANA 3,000 (aplicado por 15 min.)
7	ANA 1,500 (aplicado por 15 min.)
8	ANA 1,000 (aplicado por 15 min.)
9	ANA 500 (aplicado por 15 min.)
10	AIA 3,000 (aplicado por 15 min.)
11	AIA 1,500 (aplicado por 15 min.)
12	AIA 1,000 (aplicado por 15 min.)
13	AIA 500 (aplicado por 15 min.)



Cuadro 4.- Características de los ensayos realizados para el enraizamiento de estacas de *Pseudotsuga menziesii*.

Ensayos	Pocendencia	Época	Exposición	Fecha de colecta
1 Desarrollo del árbol y exposición de la estaca a la sombra	El Llanete	Invierno	Sombra	Mar/12 - Jul/12
2		Verano		May/15 - Sep/14
3 Diferentes temporadas de crecimiento de la estaca	El Llanete	Verano	Sombra	Jul. /01 - Nov. /01
4 Exposición de la estaca a radiación solar en invernadero	El Llanete	Primavera	Sol	Abr. /16 - Ago. /16
5 Preparación de la estaca y su exposición a sombra o radiación solar	Los Saucos	Primavera	Sol	Abr. /19 - Ago. /16
6		Otoño	Sombra	Dic. /21 - Abr. /28
7 Preparación de la estaca	El Llanete	Primavera	Sombra	May/15 - Sep/14
8 Preparación de la estaca y diferentes temporadas de crecimiento de la estaca	El Llanete	Verano	Sombra	Jul. /01 - Nov. /01
9 Diferencias de edad y preparación de la estaca	Los Saucos	Primavera	Sombra	May. /23 - Sep. /14
10		Verano		Jul. /9 - Nov. /8

6.3. Recolecta y manejo de material vegetal

El material empleado procedió de dos sitios, para el primer caso se colectaron de un bosque natural ubicado en la población de El Llanete municipio de Ixtacatitlán, Puebla a 19°34'56.8" latitud N, 97°52'34.4" longitud W y 2,768 msnm. Se recolectaron estacas de árboles jóvenes completos que a su vez se dividieron en dos grupos con base en el número de verticilos que presentaron los arboles (<5 y ≥5). Todos fueron menores a un metro de altura, con fuste recto, sin bifurcaciones, ni torceduras, libre de enfermedades y plagas, con ramas delgadas, horizontales y laterales que presentaron la última y penúltima temporada de crecimiento. Estas fueron colocadas dentro de hieleras para su transporte al laboratorio.



En el el sitio también se tomaron individuos completos que fueron trasladados al invernadero para su cuidado, ya en el invernadero recibieron riegos diarios y fertilizaciones semanales con UltraSol® de crecimiento con fórmula (25-10-10) bajo una dosis de 0.48 gr/1 l de agua cada tercer día. Para la prevención de hongos se administró 20 gr de Captan®/10 l de agua cada 15 días. Después de 4 meses se alternó la fumigación con RIDOMIL® en 25 gr/10 l de agua (Figura 2).

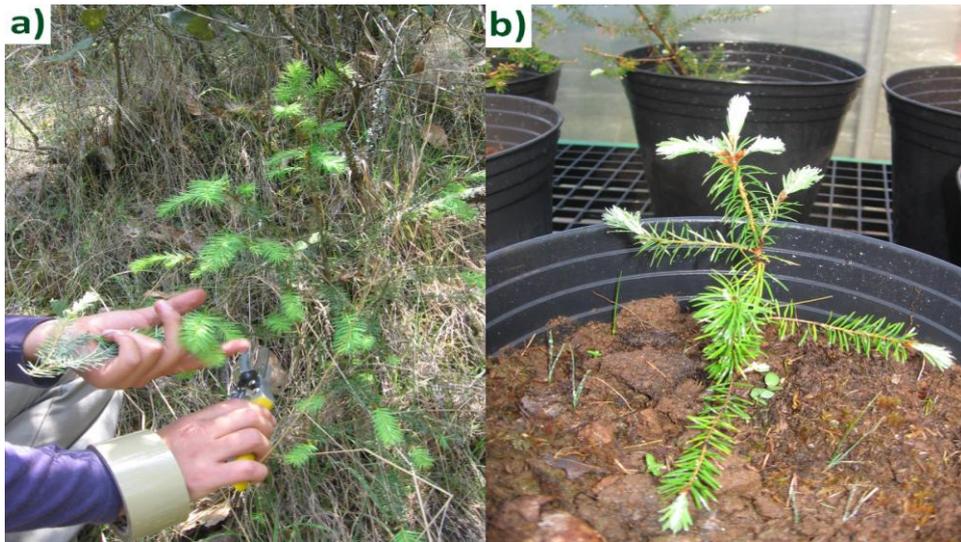


Figura 2. a) Recolecta de las estacas en el sitio. b) Individuos colectados en campo que fueron trasladados al invernadero.

Algunas plantas presentaron *Phytophthora*, por lo que se suspendió la aplicación de los fungicidas anteriores y se suministró Aliette® bajo la dosis de 25 gr/10 l de agua cada 8 días durante 4 semanas. Al termino de este tratamiento se aplicó Clorotalonil con la dosis 40 gr/20 l de agua cuatro veces cada 15 días para combatir la presencia de *Phaeocryptopus gaeumanni* (T. Rohde) Petr. 1938 (tizón suizo) que apareció posteriormente.

En el segundo sitio el material provino del vivero forestal Rancho "Tres Encinos", ubicado en la localidad de Los Saucos, Valle de Bravo de La empresa "Agros Navidad" esta recolecta se realizó el 12 de abril en donde se seleccionaron individuos completos de año y medio de edad que fueron trasladados al invernadero para su manejo y cuidado. Las características fenotípicas y cuidados fueron idénticas a las descritas en el primer sitio (Figura 3).

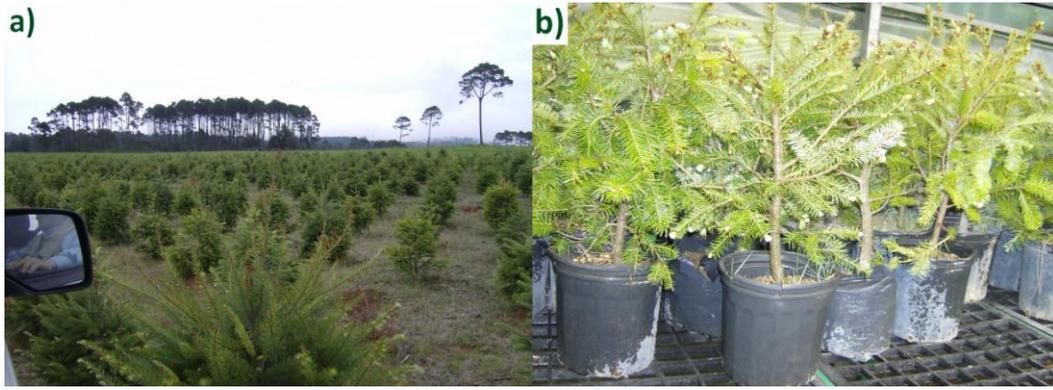


Figura 3. a) Vivero Forestal Rancho "Tres encinos". b) Individuos donados por la empresa Agros Navidad.

6.4. Preparación de estacas

Se procuró que las estacas midieran de 5 a 7 cm de longitud, las cuales fueron lavadas con agua corriente y jabón. Se retiraron las hojas de los primeros 2 cm de la parte basal y se pusieron en agitación con una solución de 10 ml de cloro por 2 litros de agua corriente durante 15 minutos, ya que por la procedencia del material normalmente presenta contaminación por patógenos. Posteriormente, se realizaron dos enjuagues con agua destilada para eliminar el cloro. Una vez desinfectadas, en la base de cada estaca se hizo un corte diagonal de 45° con una navaja de bisturí. Además de este corte, para los ensayos 5, 7, 9 y 10 se hicieron de 2 a 3 incisiones verticales de 3 mm de longitud para que existiera mayor área de exposición a los enraizadores (Figura 4).



Figura 4. a) Estacas de 5 a 7 cm de longitud con y sin hojas en su base. b) Desinfección de las estacas. c) Corte de 45° realizado en la base de la estaca. d) Incisión vertical en la base de la estaca.



6.5. Preparación de medio de crecimiento

El sustrato empleado para el enraizamiento se hizo con una mezcla mineral-orgánica de agrolita y peatmoss, en razón 2:1, ya que las características físicas de este permitieron una buena capacidad de retención de agua, drenaje y porosidad lo que generó una atmósfera para que las estacas accedieran fácilmente al oxígeno. El sustrato se colocó en tubetes de 100 c.c. y se desinfectó con Captan® bajo una mezcla de 20 g diluidos en 10 l de agua.

6.6. Preparación y aplicación de auxinas

Se emplearon las hormonas de ANA y AIA en grado reactivo y AIB de los productos comerciales Radix 3,000 y Radix 10,000. En el primer par de auxinas, se prepararon 200 ml de solución madre para cada una, para ello se pesaron 300 mg y se disolvieron completamente en hidróxido de sodio (NaOH), después se aforaron con agua esterilizada hasta llegar al volumen requerido.

En la auxina AIB, al igual que las soluciones madre, se disolvieron con agua esterilizada a concentraciones de 1,500, 1,000 y 500 mg l⁻¹ para su aplicación en la base de la estaca por 15 min. También se emplearon los productos comerciales de manera directa. Radix 3,000 se administró por 15 min y al contacto, y Radix 10,000 sólo al contacto. Se suministraron las auxinas por grupo del cual procedían (árboles <5 y ≥5 verticilos) y se colocaron las estacas inmediatamente en el medio de cultivo (Figura 5).

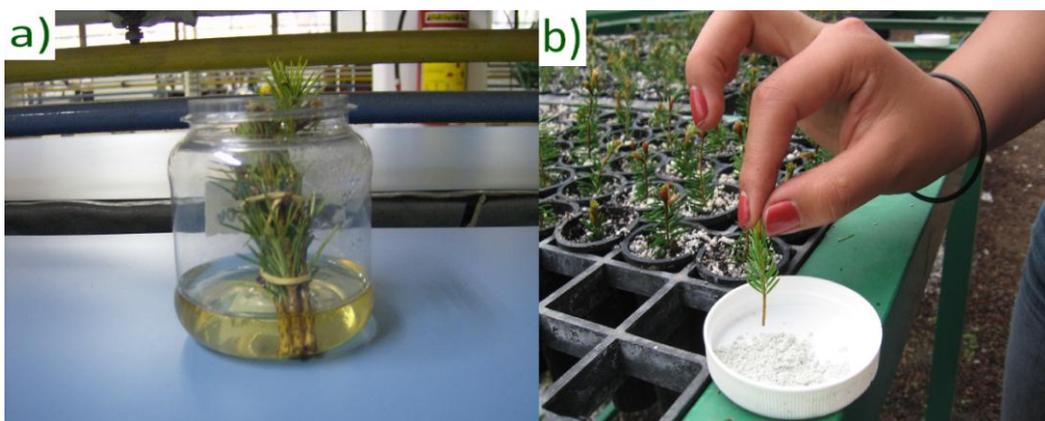


Figura 5. a) Estacas colocadas en tratamiento durante 15 minutos. **b)** Colocación del producto comercial al contacto en la base de la estaca.



6.7. Establecimiento y cuidados

Se colocaron las estacas en el sustrato en posición vertical aproximadamente a 2 cm de profundidad (Figura 6). Con el propósito de crear un ambiente de alta humedad se aplicaron riegos por micro aspersión durante todo el proceso y así evitar estrés fisiológico por efecto de la evapotranspiración, estos fueron cuatro veces al día durante 15 minutos cada uno. Durante el tiempo que duró el ensayo se aplicó Captan® cada 15 días para mantener el material libre de hongos y plagas. Todos los ensayos estuvieron bajo malla sombra con una penetración de luz solar del 35 %. Cada ensayo se dividió en dos. El criterio fue el número de verticilos de los árboles (<5 y ≥5).



Figura 6. Colocacion de las estacas en el medio de enraizamiento

6.8. Diseño experimental y análisis estadístico

Los experimentos se establecieron, de manera independiente, mediante un diseño completamente al azar. En cada uno, a cada estaca le fue asignado un tratamiento de manera aleatoria, lo que generó un total de 13 tratamientos con cinco repeticiones cada uno (Cuadro 1 y 3 a excepción del ensayo 6 el cual tuvo 9 tratamientos (Cuadro 2); las variables dependientes fueron: a) sobrevivencia (viva o muerta), b) presencia-ausencia de callo y c) presencia-ausencia de raíz, y la variable independiente fue el tratamiento aplicado. Se hicieron evaluaciones una vez al mes. Al final del periodo (4 meses) se realizó la evaluación de los experimentos.



Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete de cómputo estadístico Minitab versión 15 a través de un análisis de varianza evaluando diferentes factores para cada ensayo (Cuadro 5). Esto con el propósito de determinar si existieron diferencias significativas entre los tratamientos. Durante el análisis se consideraron cinco medidas descriptivas: media, error estándar de la media, desviación estándar, coeficiente de variación y mediana.

Cuadro 5. Factores y número de tratamientos evaluados para los ensayos establecidos durante el enraizamiento

Ensayo	Factores evaluados
1, 2 y 4	Tratamientos (13) Verticilos (<5 y ≥5)
3	Tratamientos (13) Verticilos (<5 y ≥5) Año (2009 y 2010)
6	Tratamientos (9) 1.5 años de edad
8	Tratamientos (13) Incisión (con y sin) Año (2009 y 2010)
5, 7, 9 y 10	Tratamientos (13) Incisión (con y sin)



7. RESULTADOS

Ensayos 1 y 2. Respuestas debidas al desarrollo del árbol y exposición de estaca a la sombra

Ensayo 1

Sobrevivencia

En esta variable, los tratamientos 1, 3, 11 y 13 fueron los que presentaron la mejor tendencia a la sobrevivencia ya que se obtuvo el valor más alto (Me=4) (Cuadro 6). El ANOVA indicó que no existieron diferencias estadísticamente significativas (F=1.24, P=0.359).

Cuadro 6. Medianas obtenidas para la sobrevivencia con respecto al número de verticilos (<5 y ≥5) durante la época de invierno.

Tratamientos	Verticilos	No. de estacas vivas	Mediana (Me)
1 Testigo	<5	4	4
	≥5	4	
2 AIB 1,500 **	<5	3	2
	≥5	1	
3 AIB 1,000 **	<5	4	4
	≥5	4	
4 AIB 500 **	<5	2	2
	≥5	2	
5 ANA 1,500 **	<5	1	1.5
	≥5	2	
6 ANA 1,000 **	<5	4	3
	≥5	2	
7 ANA 500 **	<5	3	1.5
	≥5	0	
8 AIA 1,500 **	<5	4	3.5
	≥5	3	
9 AIA 1,000 **	<5	2	3
	≥5	4	
10 AIA 500 **	<5	2	3.5
	≥5	5	
11 Radix 3,000 **	<5	5	4
	≥5	3	
12 Radix 3,000 *	<5	2	2.5
	≥5	3	
13 Radix 10,000 *	<5	4	4
	≥5	4	

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto



Durante la comparación de la sobrevivencia de los dos grupos (<5 y \geq 5 verticilos) se observó que aunque ambos tuvieron la misma mediana; las estacas <5 verticilos obtuvieron la mejor respuesta, ya que los datos mostraron menor variación (Figura 7). Sin embargo, tampoco existieron diferencias estadísticamente significativas ($F=0.23$, $P=0.641$).

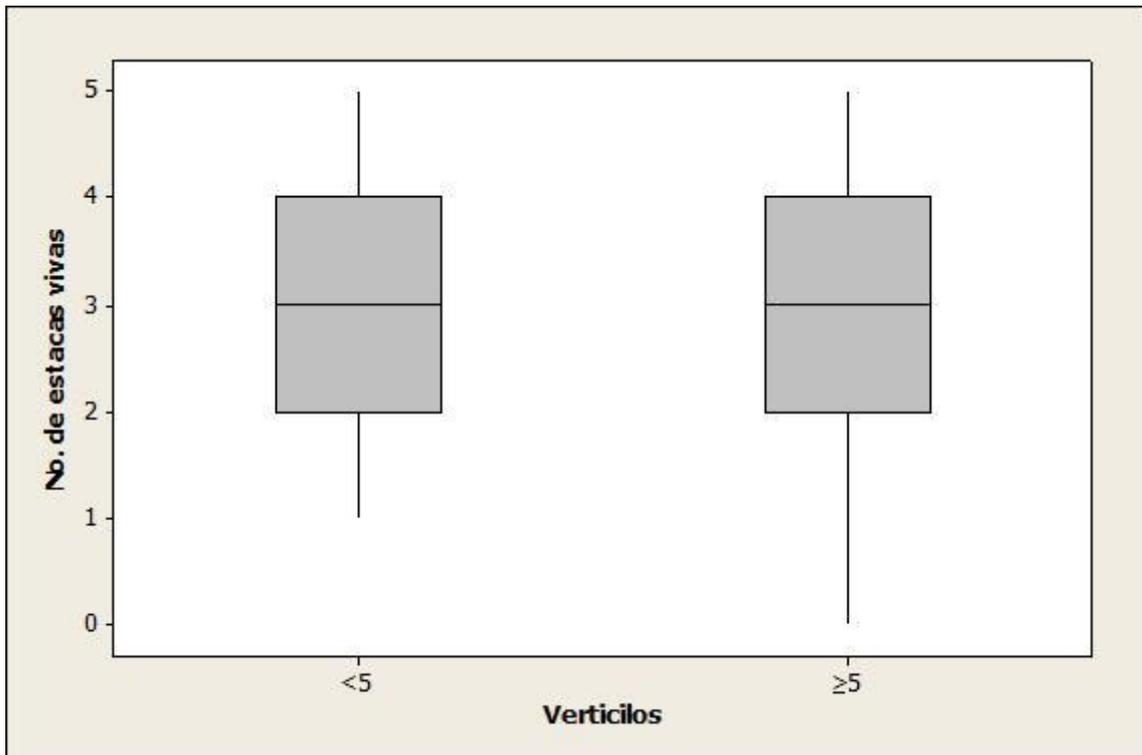


Figura 7. Comparación de sobrevivencia en dos grupos de estacas (<5 y \geq 5 verticilos) de *Pseudotsuga menziesii* procedentes del Llanete y correspondientes a la estación de invierno.

Callo

En cuanto a esta variable los tratamientos con mejor tendencia fueron 1, 3, 9, 11 y 13 (Me=3) (Cuadro 7), aunque en este caso tampoco existieron diferencias estadísticamente significativas ($F= 0.80$, $P=0.645$). El análisis comparativo de los dos grupos mostró que las estacas <5 verticilos tuvieron mejor respuesta. Mientras que las \geq 5 presentaron datos con mayor dispersión. No obstante, tampoco existieron diferencias estadísticamente significativas ($F=0.45$, $P=0.515$).



Cuadro 7. Medianas obtenidas para la presencia de callo con respecto al número de verticilos (<5 y ≥5) durante la época de invierno.

	Tratamientos	Verticilos	No. de estacas con callo	Mediana (Me)
1	Testigo	<5	3	3
		≥5	3	
2	AIB 1,500 **	<5	1	2.5
		≥5	4	
3	AIB 1,000 **	<5	3	3
		≥5	3	
4	AIB 500 **	<5	2	2
		≥5	2	
5	ANA 1,500 **	<5	0	0.5
		≥5	1	
6	ANA 1,000 **	<5	3	2.5
		≥5	2	
7	ANA 500 **	<5	3	1.5
		≥5	0	
8	AIA 1,500 **	<5	3	2.5
		≥5	2	
9	AIA 1,000 **	<5	3	3
		≥5	3	
10	AIA 500 **	<5	1	2.5
		≥5	4	
11	Radix 3,000 **	<5	3	3
		≥5	3	
12	Radix 3,000 *	<5	2	2
		≥5	2	
13	Radix 10,000 *	<5	2	3
		≥5	4	

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto



Figura 8. Estaca de árbol ≥5 verticilos de *Pseudotsuga menziesii* con raíz, procedente del Llanete y correspondiente a la estación de invierno, tratamiento 4 (AIB 500 ppm).

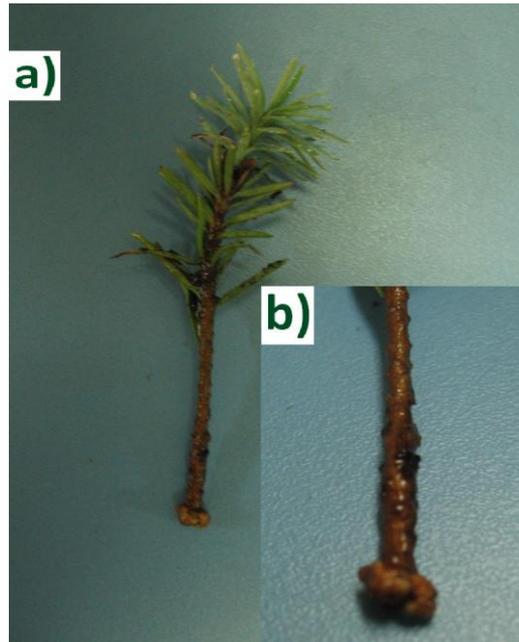


Figura 9. Estaca de árbol ≥ 5 verticilos de *Pseudotsuga menziesii* con raíz, procedente del Llanete y correspondiente a la estación de invierno, tratamiento 10 (AIA 500 ppm).

Raíz

Los resultados de las estacas que enraizaron en invierno se presentan en el (Cuadro 8) donde se aprecia que en sólo cuatro tratamientos existieron raíces adventicias (Figuras 10, 11 y 12). En este caso no se realizó un análisis estadístico debido a la baja respuesta de cada tratamiento.

Cuadro 8. Tratamientos con respuesta de enraizamiento en estacas (<5 y ≥ 5 verticilos) de *Pseudotsuga menziesii*; procedentes del Llanete durante la época de invierno.

Tratamiento	Estacas con verticilos	Número de raíces	Longitud (mm)
4 AIB 500 **	< 5	5	2.7, 1.3, 1.9, 1.4, 1.8
6 ANA 1,000 **	≥ 5	1	1.4
	≥ 5	5	24.4, 8.8, 3.6, 5.4, 4.6
7 ANA 500 **	< 5	2	32.1, 18.3
8 AIA 1,500 **	≥ 5	1	0.5



Figura 10. Estaca de árbol ≥ 5 verticilos de *Pseudotsuga menziesii* con raíz, procedente del Llanete y correspondiente a la estación de invierno, tratamiento 6 (ANA 1,000 ppm).



Figura 11. Estaca de árbol < 5 verticilos de *Pseudotsuga menziesii* con raíz, procedente del Llanete y correspondiente a la estación de invierno, tratamiento 7 (ANA 500 ppm).



Figura 12. Estaca de árbol < 5 verticilos de *Pseudotsuga menziesii* con raíz, procedente del Llanete y correspondiente a la estación de invierno, tratamiento 4 (AIB 500 ppm).



Ensayo 2

Sobrevivencia

El tratamiento 13 fue el que registró la mejor tendencia a esta variable para las estacas (<5 y ≥5 verticilos) (Cuadro 9); sin embargo, los tratamientos no tuvieron diferencias estadísticamente significativas (F=1.23, P=0.361).

Cuadro 9. Medianas obtenidas para la sobrevivencia con respecto al número de verticilos (<5 y ≥5) durante la época de verano.

	Tratamientos	Verticilos	No. de estacas vivas	Mediana (Me)
1	Testigo	<5	2	2
		≥5	2	
2	AIB 1,500 **	<5	3	2
		≥5	1	
3	AIB 1,000 **	<5	2	2
		≥5	2	
4	AIB 500 **	<5	3	2.5
		≥5	2	
5	ANA 1,500 **	<5	2	1.5
		≥5	1	
6	ANA 1,000 **	<5	1	0.5
		≥5	0	
7	ANA 500 **	<5	2	2
		≥5	2	
8	AIA 1,500 **	<5	3	2
		≥5	1	
9	AIA 1,000 **	<5	3	2
		≥5	1	
10	AIA 500 **	<5	1	1.5
		≥5	2	
11	Radix 3,000 **	<5	3	1.5
		≥5	0	
12	Radix 3,000 *	<5	0	0
		≥5	0	
13	Radix 10,000 *	<5	5	3
		≥5	1	

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto



El análisis comparativo realizado para los dos grupos mostró que las estacas <5 verticilos obtuvieron una mayor mediana (Me=2) y aunque los datos estuvieron muy dispersos se observó un sesgo positivo (Figura 13). El ANOVA realizado arrojó diferencias estadísticamente significativas ($F=8.77$, $P=0.012$).

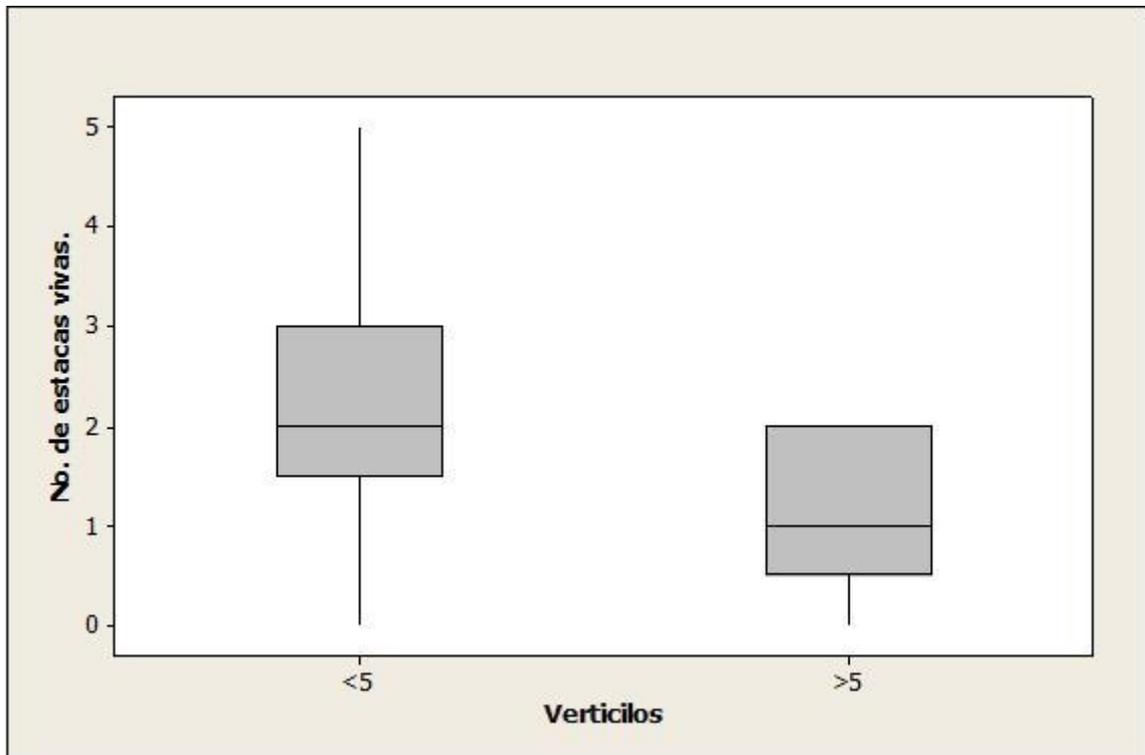


Figura 13. Comparación de sobrevivencia en dos grupos de estacas (<5 y ≥ 5 verticilos) de *Pseudotsuga menziesii* procedentes del Llanete, correspondientes a la estación de primavera.

Callo y Raíz

En este ensayo los tratamientos aplicados no presentaron respuestas sobre estas variables.



Ensayo 3. Respuestas debidas a la preparación de la estaca y diferencia entre la temporada de crecimiento

Sobrevivencia

En este ensayo los tratamientos 1, 2, y 8 aplicados a las estacas ≥ 5 verticilos presentaron una mejor tendencia (Me=4). En cuanto a las < 5 verticilos, los tratamientos 10 y 12 fueron los que mostraron una mejor tendencia (Me= 4 y 5) respectivamente (Cuadro 10). En ambos grupos, los tratamientos con mejor sobrevivencia no tuvieron diferencias estadísticamente significativas ($F= 0.87$, $P= 0.590$).

Cuadro 10. Medianas obtenidas para la sobrevivencia sobre el número de verticilos (< 5 y ≥ 5) con respecto al año de crecimiento (2009 y 2010) durante la época de verano.

Tratamientos	≥ 5 Verticilos			< 5 Verticilos		
	Año	No. de estacas vivas	Mediana (Me)	Año	No. de estacas vivas	Mediana (Me)
1 Testigo	2009	3	4	2009	1	3
	2010	5		2010	5	
2 AIB 1,500 **	2009	3	4	2009	1	3
	2010	5		2010	5	
3 AIB 1,000 **	2009	1	2.5	2009	1	3
	2010	4		2010	5	
4 AIB 500 **	2009	2	3.5	2009	1	3
	2010	5		2010	5	
5 ANA 1,500 **	2009	4	3	2009	1	3
	2010	2		2010	5	
6 ANA 1,000 **	2009	3	2.5	2009	1	2.5
	2010	2		2010	4	
7 ANA 500 **	2009	1	1.5	2009	1	2.5
	2010	2		2010	4	
8 AIA 1,500 **	2009	3	4	2009	1	3
	2010	5		2010	5	
9 AIA 1,000 **	2009	4	3.5	2009	1	3
	2010	3		2010	5	
10 AIA 500 **	2009	2	3	2009	3	4
	2010	4		2010	5	
11 Radix 3,000 **	2009	3	3.5	2009	2	3.5
	2010	4		2010	5	
12 Radix 3,000 *	2009	2	3.5	2009	5	5
	2010	5		2010	5	
13 Radix 10,000 *	2009	2	3.5	2009	2	3
	2010	5		2010	4	

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto



La Figura 14 muestra la sobrevivencia del penúltimo y último año de crecimiento (2009 y 2010, respectivamente) en donde se aprecia que en las estacas del 2009 el tratamiento 12 fue el que presentó una mejor tendencia a la sobrevivencia (Me=3.5). En cuanto a las del 2010, los tratamientos con la mejor respuesta fueron 1, 2, 4, 8 y 12 (Me=5). En este caso si existieron diferencias estadísticas significativas entre los dos años (F= 47.04, P= 0.000).

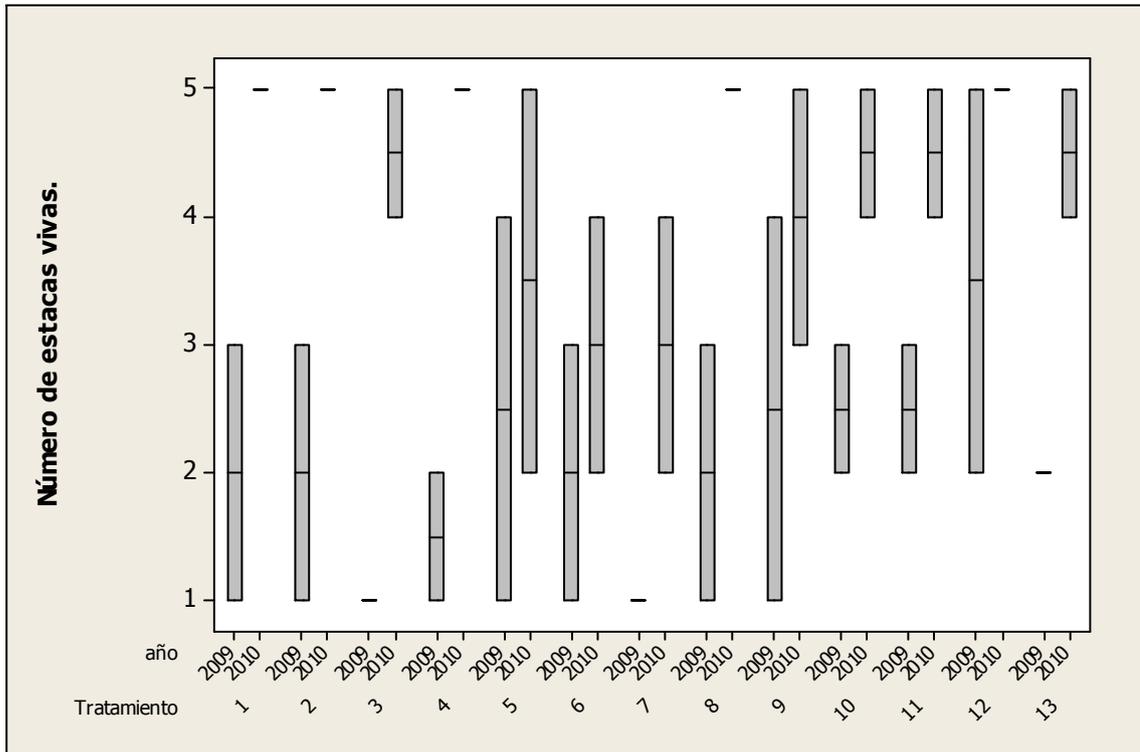


Figura 14. Sobrevivencia de las estacas de *Pseudotsuga menziesii* del penúltimo (2009) y último (2010) año de crecimiento por tratamiento aplicado; procedentes del Llanete y correspondientes estación de verano.

En un análisis comparativo de la sobrevivencia entre los dos grupos se observó que las estacas <5 y ≥ 5 verticilos correspondientes al último año de crecimiento (2010) tuvieron las medianas más altas (Me= 5 y 4, respectivamente); mientras que las correspondientes al penúltimo año de crecimiento (2009) los valores fueron más bajos (Figura 15). El análisis estadístico mostró que hubo diferencias significativas entre los años (F= 7.15, P= 0.020).

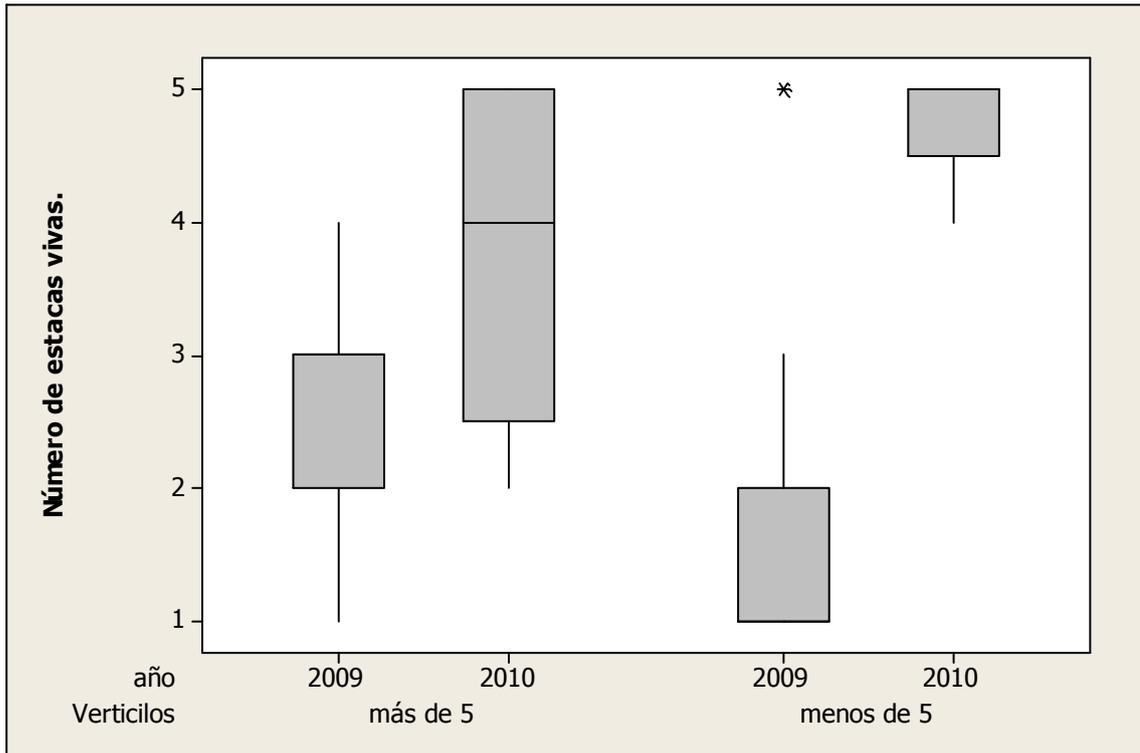


Figura 15. Comparación de sobrevivencia en dos grupos de estacas (<5 y ≥5 verticilos) de *Pseudotsuga menziesii* del penúltimo (2009) y último (2010) año de crecimiento; procedentes del Llanete y correspondientes a la estación de verano.

Callo y raíz

En este ensayo los tratamientos aplicados no mostraron respuesta alguna sobre estas variables.

Ensayo 4. Respuestas debidas a la exposición de la estaca a radiación solar

Sobrevivencia

Para esta variable, el análisis de los tratamientos aplicados a las estacas <5 y ≥5 verticilos mostró que el 4 y 6 obtuvieron una mejor tendencia a la sobrevivencia (Me=2) seguida de los 3 y 12 (Me=1.5) (Cuadro 11); sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (F=0.62, P=0.789).



Cuadro 11. Medianas obtenidas para la sobrevivencia con respecto al número de verticilos (<5 y ≥5) durante la época de primavera.

Tratamientos		Verticilos	No. de estacas vivas	Mediana (Me)
1	Testigo	<5	1	1
		≥5	1	
2	AIB 1,500 **	<5	0	1
		≥5	2	
3	AIB 1,000 **	<5	2	1.5
		≥5	1	
4	AIB 500 **	<5	3	2
		≥5	1	
5	ANA 1,500 **	<5	2	1
		≥5	0	
6	ANA 1,000 **	<5	3	2
		≥5	1	
7	ANA 500 **	<5	0	1
		≥5	2	
8	AIA 1,500 **	<5	1	1
		≥5	1	
9	AIA 1,000 **	<5	2	1
		≥5	0	
10	AIA 500 **	<5	1	0.5
		≥5	0	
11	Radix 3,000 **	<5	0	0
		≥5	0	
12	Radix 3,000 *	<5	2	1.5
		≥5	1	
13	Radix 10,000 *	<5	0	0.5
		≥5	1	

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto

El análisis de sobrevivencia realizado para los dos grupos (<5 y ≥5 verticilos) mostró que las estacas <5 verticilos mostraron una mejor distribución de datos (Me=1). No obstante, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (F=1.32, P=0.273).

Callo y raíz

En estos ensayos los tratamientos aplicados no presentaron respuesta alguna sobre estas variables.



Ensayo 5 y 6. Respuestas debidas a la preparación de la estaca y su exposición a sombra o radiación solar.

Ensayo 5

Sobrevivencia

En este ensayo los tratamientos 1, 2, 4 y 11 presentaron el mismo número (1) de estacas vivas (Cuadro 12), siendo está una respuesta muy baja, debido a la alta mortalidad de estacas (Figura 16) no se realizó el análisis estadístico.

Cuadro 12. Tratamientos con registro de sobrevivencia en estacas de la plantas madres de 1.5 años de edad durante la temporada de primavera.

Con insición		
Tratamientos		No. de estacas vivas
1	Testigo	1
2	AIB 1,500 **	1
4	AIB 500 **	1
11	Radix 3,000 **	1

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto



Figura 16. Estacas provenientes de individuos de 1.5 años de edad procedentes de Los Saucos, en donde se observa la alta mortandad que presentaron a los 30 días de establecido el ensayo y correspondiente a la estación de primavera.

Callo y raíz

Los tratamientos aplicados no presentaron respuesta alguna sobre estas variables.



Ensayo 6

Sobrevivencia

Los tratamientos 3 y 9 mostraron mejor tendencia a esta variable (Me=5 y 4.5 respectivamente) seguidos del 5 y 7 (Me=4); sin embargo, no existieron diferencias estadísticamente significativas ($F=1.07$, $P= 0.410$) (Figura 17) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Número de estacas vivas por bloques y medianas obtenidas para la sobrevivencia con respecto a la edad de la planta madre (1.5 años de edad) durante la época de otoño.

Tratamientos	No. de estacas vivas				Mediana (Me)
	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	
1 Testigo	1	4	2	4	3
2 AIB 1,000 **	4	5	3	3	3.5
3 AIB 500 **	5	3	5	5	5
4 ANA 1,000 **	3	2	5	4	3.5
5 ANA 500 **	5	2	4	4	4
6 AIA 1,000 **	4	4	3	4	4
7 AIA 500 **	5	4	4	3	4
8 Radix 3,000 *	3	3	3	5	3
9 Radix 10,000 *	5	4	5	4	4.5

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto

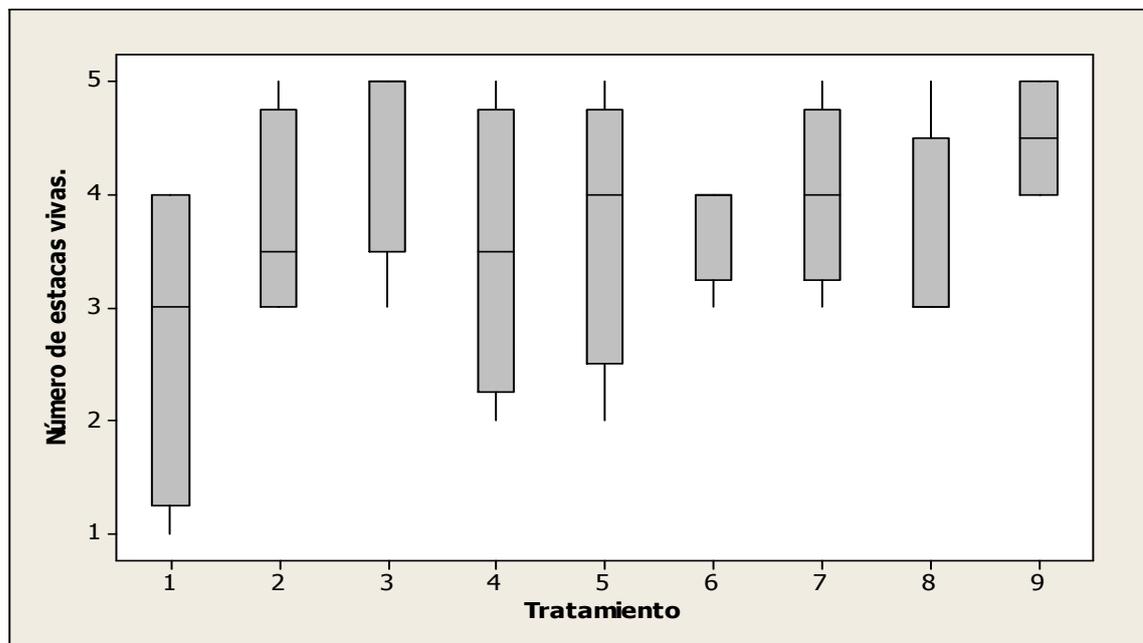


Figura 17. Sobrevivencia de las estacas de *Pseudotsuga menziesii* por tratamiento aplicado; procedentes de Los Saucos y correspondientes a la estación de otoño.



Callo

El tratamiento que mejor tendencia tuvo a la respuesta del callo fue el 6 (Me=1.5) aunque estadísticamente no existieron diferencias significativas de este, con respecto a los demás tratamientos (F=0.28, P=0.968) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Número de estacas vivas por bloques y medianas obtenidas para la presencia de callo con respecto a la edad de la planta madre (1.5 años de edad) durante la época de otoño.

Tratamientos	No. de estacas vivas				Mediana (Me)
	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	
1 Testigo	1	2	0	0	0.5
2 AIB 1,000 **	3	1	0	0	0.5
3 AIB 500 **	2	1	1	0	1
4 ANA 1,000 **	0	0	1	0	0
5 ANA 500 **	2	0	1	0	0.5
6 AIA 1,000 **	2	0	2	1	1.5
7 AIA 500 **	3	0	0	0	0
8 Radix 3,000 *	1	0	0	2	0.5
9 Radix 10,000 *	4	1	0	0	0.5

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto

Raíz

No existió respuesta en esta variable.

Ensayo 7: Respuestas debidas a la preparación de la estaca.

Sobrevivencia

En el análisis de tratamientos, la mejor tendencia se presentó en el 9 (Me=3.5) seguido del 3 y 12 (Me=3) (Cuadro 15); sin embargo, estadísticamente no hubo diferencias significativas (F=0.56, P=0.837).



Cuadro 15. Medianas obtenidas para la sobrevivencia con respecto a la incisión realizada en la base de la estaca durante la época de primavera.

	Tratamientos	Incisión	No. de estacas vivas	Mediana (Me)
1	Testigo	sin	1	2.5
		con	4	
2	AIB 1,500 **	sin	2	1.5
		con	1	
3	AIB 1,000 **	sin	3	3
		con	3	
4	AIB 500 **	sin	3	2.5
		con	2	
5	ANA 1,500 **	sin	0	1.5
		con	3	
6	ANA 1,000 **	sin	3	2
		con	1	
7	ANA 500 **	sin	3	2
		con	1	
8	AIA 1,500 **	sin	2	1.5
		con	1	
9	AIA 1000 **	sin	3	3.5
		con	4	
10	AIA 500 **	sin	3	2.5
		con	2	
11	Radix 3,000 **	sin	1	2.5
		con	4	
12	Radix 3,000 *	sin	2	3
		con	4	
13	Radix 10,000 *	sin	0	1
		con	2	

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto

En el análisis comparativo sobre la respuesta entre ambos grupos se observa que a pesar de haber obtenido las misma mediana (Me= 2), aquellas a las que se le realizó la incisión tuvieron mayor dispersión de datos en comparación con las que no la tuvieron. El ANOVA no mostro diferencias estadísticamente significativas (F=0.73, P=0.408).

Callo y Raíz

Los tratamientos aplicados no presentaron respuesta en estas variables.



Ensayo 8. Respuestas debidas a la preparación de la estaca y diferencia entre la temporada de crecimiento.

Sobrevivencia

Las estacas preparadas sin incisión en la parte basal los tratamientos 1 y 10 generaron la mayor respuesta (Me=5). En cuanto a las estacas con incisión los tratamientos que mostraron mejores resultados fueron el 3 y 11 (Me=3.5) (Cuadro 16) (Figura 18). En ambas formas de preparación, a pesar de que algunos tratamientos presentaron una mejor tendencia a la sobrevivencia no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F= 0.98$, $P= 0.513$).

Cuadro 16. Medianas obtenidas para la sobrevivencia sobre la incisión realizada en la base de la estaca con respecto al año de crecimiento (2009 y 2010) durante la época de verano.

Tratamientos	Sin incisión			Con incisión		
	Año	No. de estacas vivas	Mediana (Me)	Año	No. de estacas vivas	Mediana (Me)
1 Testigo	2009	5	5	2009	2	2.5
	2010	5		2010	3	
2 AIB 1,500 **	2009	3	4	2009	4	3
	2010	5		2010	2	
3 AIB 1,000 **	2009	3	4	2009	2	3.5
	2010	5		2010	5	
4 AIB 500 **	2009	3	4	2009	2	2
	2010	5		2010	2	
5 ANA 1,500 **	2009	2	2	2009	3	2.5
	2010	2		2010	2	
6 ANA 1,000 **	2009	2	3.5	2009	1	1.5
	2010	5		2010	2	
7 ANA 500 **	2009	2	3	2009	2	2.5
	2010	4		2010	3	
8 AIA 1,500 **	2009	2	2.5	2009	4	3
	2010	3		2010	2	
9 AIA 1,000 **	2009	4	4.5	2009	2	3
	2010	5		2010	4	
10 AIA 500 **	2009	5	5	2009	1	2.5
	2010	5		2010	4	
11 Radix 3,000 **	2009	3	2.5	2009	2	3.5
	2010	2		2010	5	
12 Radix 3,000 *	2009	4	4.5	2009	1	2
	2010	5		2010	3	
13 Radix 10,000 *	2009	1	3	2009	0	1.5
	2010	5		2010	3	

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto

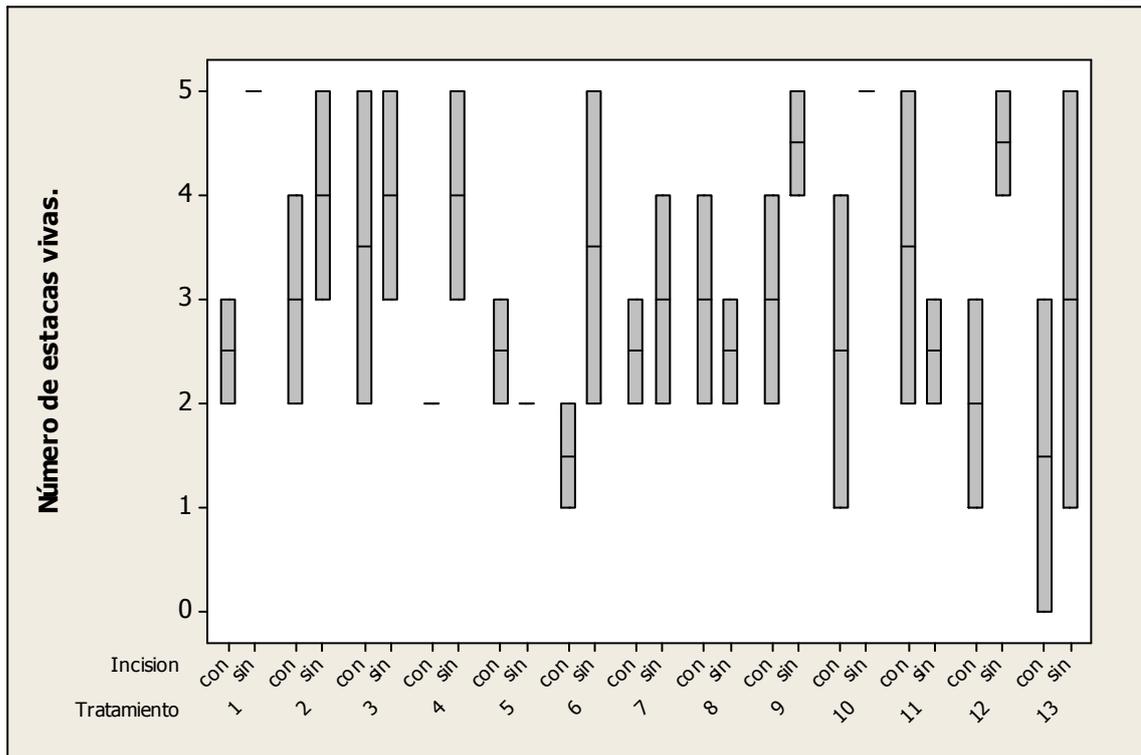


Figura 18. Sobrevivencia de las estacas de *Pseudotsuga menziesii* (con y sin incisión) por tratamiento aplicado, procedentes del Lanete y correspondientes a la estación de verano.

En las estacas evaluadas en diferentes periodos de crecimiento la mayor sobrevivencia, correspondiente al penúltimo año de crecimiento (2009), se obtuvo con los tratamientos 1, 2, (Me=3.5). En cuanto a las estacas procedentes del último año de crecimiento (2010) el tratamiento 3 presento la mejor respuesta (Me=5). Durante el análisis hecho se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (F=13.79, P=0.003).

En un análisis comparativo de la sobrevivencia de cada grupo (con y sin incisión) se observó que en las estacas del último año de crecimiento (2010) se obtuvieron los valores más altos (M=3) (para las que se les realizó incisión) y (M=5) para las que no recibieron incisión. Mientras que las correspondientes al penúltimo año de crecimiento (2009) los valores fueron más bajos: (Me= 2 y 3), respectivamente (Figura 19). En este caso se encontraron diferencias estadísticamente significativas (F= 12.07, P= 0.005).

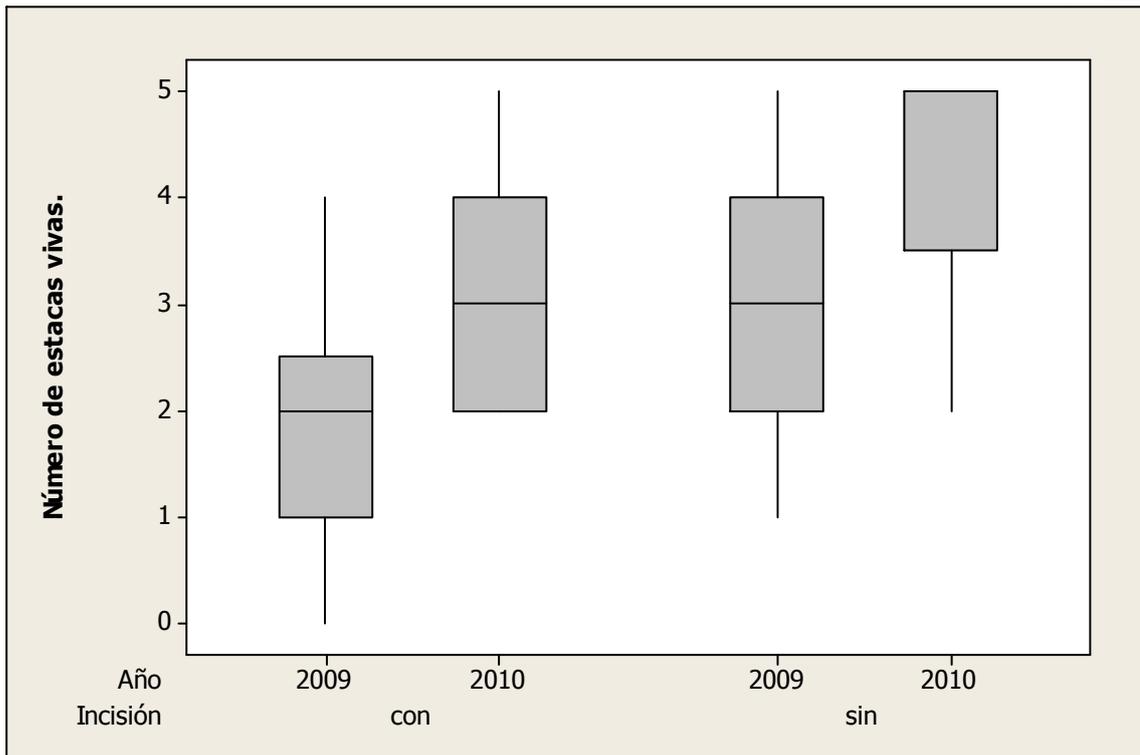


Figura 19. Comparación de sobrevivencia de estacas (con y sin incisión) de *Pseudotsuga menziesii* del penúltimo (2009) y último (2010) año de crecimiento procedentes del Llanete y correspondientes a la estación de verano.

Callo y Raíz

Los tratamientos aplicados no presentaron respuestas en estas variables.

Ensayos 9 y 10: Respuestas debidas a diferencias de edad y preparación de la estaca.

Ensayo 9.

Sobrevivencia

Para esta variable se observa que los tratamientos 12 y 13 (Me=5) seguidos de los 1, 3, 8 y 9 (Me=4.5) fueron los que presentaron una mejor tendencia (Cuadro 17) aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F=1.42$, $P=0.277$). En un análisis comparativo de los dos grupos se apreció que ambos obtuvieron el mismo valor en la mediana (Me=4); sin embargo, los dos mostraron dispersión de datos. Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F=0.00$, $P=1.000$).



Cuadro 17. Medianas obtenidas para la sobrevivencia con respecto a la incisión realizada en la base de las estacas provenientes de plantas madres de 1.5 años de edad durante la época de primavera.

	Tratamientos	Incisión	No. de estacas vivas	Mediana (Me)
1	Testigo	sin con	4 5	1
2	AIB 1,500 **	sin con	4 1	2.5
3	AIB 1,000 **	sin con	4 5	4.5
4	AIB 500 **	sin con	4 4	4
5	ANA 1,500 **	sin con	3 2	2.5
6	ANA 1,000 **	sin con	2 3	2.5
7	ANA 500 **	sin con	4 4	4
8	AIA 1,500 **	sin con	4 5	4.5
9	AIA 1,000 **	sin con	5 4	4.5
10	AIA 500 **	sin con	2 5	3.5
11	Radix 3,000 **	sin con	5 3	4
12	Radix 3,000 *	sin con	5 5	5
13	Radix 10,000 *	sin con	5 5	5

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto



Figura 20. Estacas de *Pseudotsuga menziesii* con incisión procedentes de Los Saucos, en donde se observa desprendimiento de la corteza, correspondientes a la estación de primavera. **a)** Tratamiento 4 (AIB 500 ppm) **b)** Tratamiento 5 (ANA 1,500 ppm).



Figura 21. Estaca de árbol de *Pseudotsuga menziesii* sin incisión, procedente de Los Saucos y correspondiente a la estación de primavera, tratamiento 7 (ANA 500 ppm).

Callo y Raíz

En los tratamientos aplicados no se presentaron respuestas en estas variables.

Ensayo 10.

Sobrevivencia

Los tratamientos 5, 7 y 11 fueron los que mostraron una mejor tendencia a la sobrevivencia ($Me=4.5$) (Cuadro 18), pero no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F= 2.19$, $P= 0.094$). El análisis comparativo sobre ambos grupos mostró que las estacas sin incisión, a pesar de haber obtenido una mediana baja ($Me=3$), obtuvieron una menor dispersión de datos, ya que su comportamiento fue de forma simétrica a diferencia de las que se les realizó incisión la cuales presentaron una mediana alta ($Me=4$) pero obtuvieron un sesgo negativo (Figura 22). En este caso se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F=8.16$, $P=0.014$).



Cuadro 18. Medianas obtenidas para la sobrevivencia con respecto a la incisión realizada en la base de las estacas provenientes de plantas madres de 1.5 años de edad durante la época de verano.

	Tratamientos	Incisión	No. de estacas vivas	Mediana (Me)
1	Testigo	sin	3	3.5
		con	4	
2	AIB 3,000 **	sin	4	4
		con	4	
3	AIB 1,500 **	sin	3	3.5
		con	4	
4	AIB 1,000 **	sin	3	4
		con	5	
5	AIB 500 **	sin	4	4.5
		con	5	
6	ANA 3,000 **	sin	4	3.5
		con	3	
7	ANA 1,500 **	sin	4	4.5
		con	5	
8	ANA 1,000 **	sin	1	2
		con	3	
9	ANA 500 **	sin	2	3
		con	4	
10	AIA 3,000 **	sin	2	2.5
		con	3	
11	AIA 1,500 **	sin	5	4.5
		con	4	
12	AIA 1,000 **	sin	2	3
		con	4	
13	AIA 500 **	sin	3	3
		con	3	

** Auxinas aplicadas durante 15 min.

* Auxinas aplicadas al contacto

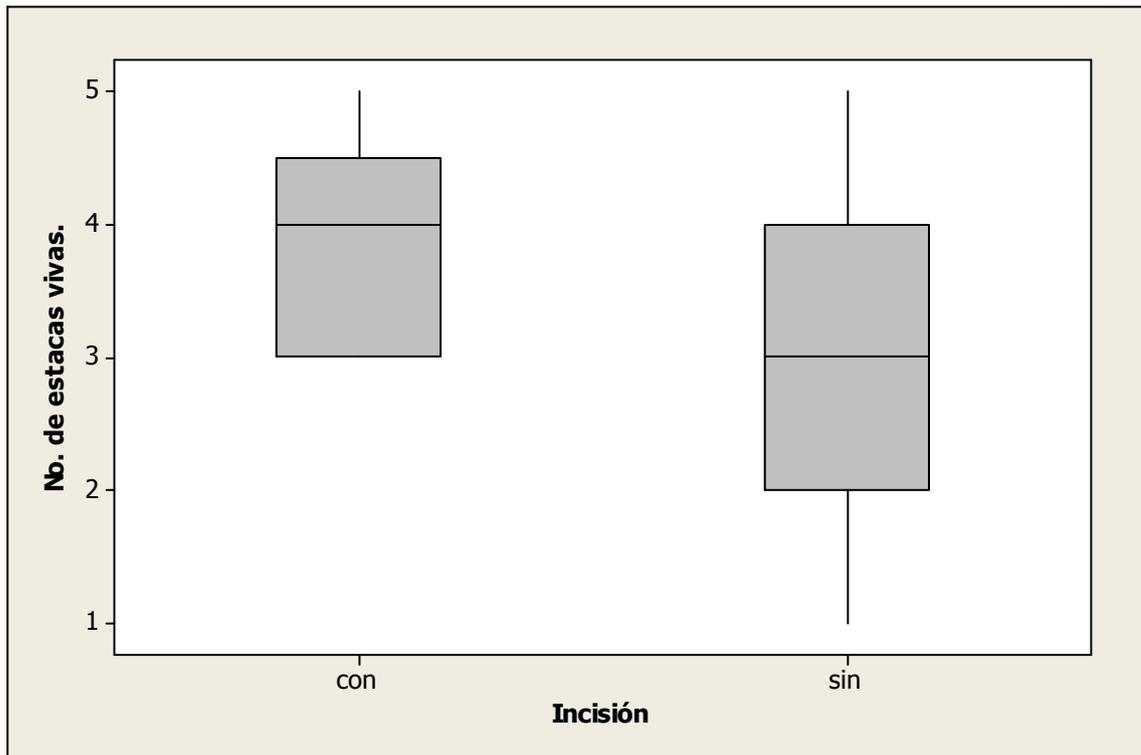


Figura 22. Comparación de sobrevivencia en dos grupos de estacas (con y sin incisión) de *Pseudotsuga menziesii*, procedentes de Los Saucos y correspondientes a la estación verano.

Callo y raíz

En los tratamientos aplicados no se presentaron respuestas en estas variables.



Cuadro 19. Tabla comparativa en donde se muestran los ensayos con y sin diferencias estadísticas, dependiendo los factores y variables evaluadas.

Ensayos	Pocedencia	Época	Exposición	Factores evaluados	Análisis estadístico		
					Sobrevivencia	Callo	Raíz
1	El Llanete	Invierno	Sombra	Verticilos (<5 y ≥5)	P= 0.641	P= 0.515	-
2		Verano			*P= 0.012	-	-
4		Primavera	Sol		P= 0.273	-	-
3		Verano	Sombra		*P= 0.020	-	-
6	Los Saucos	Otoño	Sombra	1.5 años de edad	P= 0.410	P= 0.968	-
5	Los Saucos	Primavera	Sol	Año (2009 y 2010)	*P= 0.003	-	-
7	El Llanete	Primavera	Sombra	Incisión (con y sin)	P= 0.408	-	-
9	Los Saucos	Primavera			P= 1.000	-	-
10		Verano			*P= 0.014	-	-

(*) Representan diferencias significativas, (P < 0,05).

(-) No les fue realizado análisis estadístico debido a que no presentaron respuesta alguna.

8. DISCUSIÓN

Ensayos 1 y 2. Respuestas debidas al desarrollo del árbol y exposición de estaca a la sombra

Ensayo 1

Sobrevivencia

Las estacas del tratamiento 1 que no recibieron aplicación de auxinas (testigo) y obtuvieron una buena sobrevivencia (Me=4) se considera que se debió a la liberación y traslocación de una hormona endógena, y a que las hojas aportaron azúcares (Santiago, 1998; Vargas, 1999; Santelices, 2007). Por otra parte, aunque no se observó un efecto estadísticamente significativo en cuanto a la sobrevivencia, con respecto al desarrollo del árbol (estacas < y ≥ 5 verticilos), AIB presentó la mejor tendencia a una buena respuesta en los tratamientos 3, 11 y 13 (AIB 1,000 mg l⁻¹, Radix 3,000 aplicados durante 15 minutos y Radix 10,000 al contacto, respectivamente).



El tratamiento 3 coincide con el trabajo de Latsague *et al.*, (2008), el cual encontró un 90 % de respuesta favorable en estacas de *Berberidopsis corallina* tratadas con AIB a 1.000 mg L⁻¹. Con respecto a los productos comerciales en los tratamientos 11 y 13 se cree que existieron los mas altos resultados debido a que el principal ingrediente activo es AIB. La respuesta de la aplicación de Radix 10, 000 coincidio con Prieto (1992) quien obtuvo más del 90 % de sobrevivencia en estacas de *Cupressus guadalupensis* S. Wats. Las respuestas de estos tratamientos posiblemente se deba a que la hormona (AIB) es la más estable y menos soluble; además, se desplaza muy poco y se retiene cerca del sitio de aplicación (Navarete, 2004).

En este ensayo hubo una alta sobrevivencia durante los 4 meses de duración; posiblemente sea porque el material vegetal empleado fue de la estación de invierno, que corresponde al periodo de reposo vegetativo de las plantas. Esta condición pudo reprimir alguna manifestación en las actividades metabólicas del crecimiento y permitir la presencia de posibles reservas a través de las hojas, lo cual permitió mantener la sobrevivencia (Delgado, 2008).

Por otra parte, a pesar de que no existió diferencias estadísticas entre ambos grupos (<5 y ≥5 verticilos) se puede suponer que las estacas <5 verticilos, al ser más jóvenes, son las que tienen mejor sobrevivencia porque a medida que aumenta la edad de la planta existen inhibidores que disminuye el contenido de compuestos fenólicos (Hartmann y Kester, 1987; Santiago, 1998).

Callo

Las estacas que llegaron a formar callo fueron un indicador de que las condiciones en las que estuvieron fueron adecuadas para este proceso. Los resultados de esta variable coinciden con los tratamientos que dieron respuesta en sobrevivencia, aunque difieren con el tratamiento 9 (AIA 1,000 mg l⁻¹ aplicado durante 15 minutos). Esta respuesta pudo deberse a que posiblemente disminuyeron fenoles que actúan como cofactores de la auxina en la formación de callo y emisión de raíces (Hartmann y Kester, 1987; Santiago, 1998). No obstante, Mesén (1998) menciona que la efectividad de AIA como promotor del enraizamiento es menor a la de otros compuestos sintéticos.



Las estacas que no recibieron aplicación de auxinas (testigo) y desarrollaron callo se considera que se debió a la liberación y traslocación de una hormona endógena, y a que las hojas aportaron azúcares. Esto último aumentó la concentración de carbohidratos que fueron translocados a la base y estimularon la formación de callo (Santiago, 1998; Vargas, 1999; Santelices, 2007).

Por otra parte, Santiago (1998) en *Tilia mexicana* Schl. observó que concentraciones altas ($10,000 \text{ mg l}^{-1}$) de Radix son inhibitoras en la formación de callo, lo cual contrasta con este ensayo. No obstante, en esta variable la respuesta de las estacas <5 verticilos se comportó de una manera más uniforme que con las estacas ≥ 5 verticilos. Esto posiblemente también estuvo asociado a lo descrito con anterioridad sobre la juvenilidad de las estacas.

La presencia de callo en sólo algunas estacas puede ser resultado de una pobre capacidad de enraizamiento del material vegetal por sus características genéticas (Aparicio, 2006). Al respecto, Heaman y Owens (1972) en *Pseudotsuga menziesii* (citado por Prieto, 1992), informa en sus investigaciones que entre los 75 y 155 días de haber iniciado el ensayo, no todas las estacas que formaron callo emitieron raíz y que en las que existió esta hubo menor cantidad de callo.

A pesar de que hubo emisión de callo algunas estacas murieron durante el tiempo que duró el ensayo; se considera que esto se debió a la influencia de variables no controlables pues se esperaba que las condiciones establecidas propiciarían la sobrevivencia. Al respecto, Prieto (1992) señala que con la presencia de callo existe más sobrevivencia, ya que una vez que se forma sirve como medio de absorción de agua y las estacas pueden seguir desarrollando sus actividades metabólicas durante un periodo más prolongado. Por otra parte, de acuerdo a lo observado en el periodo experimental, las estacas de *Pseudotsuga* fueron presentaron brotes nuevos y se considera que esta respuesta posiblemente fue la responsable de inhibir la formación de callo, y en consecuencia la de la raíz, ya que si la estaca contenía pocos nutrientes estos fueron utilizados en la emisión de brotes. Esto, quizá propició la muerte de las estacas.



En cuanto a la estación del año, las estacas se establecieron poco antes de que terminara la estación de invierno y lograron la formación de callo. Aspecto que coincide con el trabajo de Santiago (1998), hecho en *Tilia mexicana* Schl., quien menciona que en estacas de difícil enraizamiento y que son establecidas poco antes de que termine el invierno existe la formación de callo.

Raíz

Debido a que en la estación de invierno la capacidad de enraizamiento fue muy baja; se considera que pudo deberse a lo anteriormente descrito para la formación del callo o al efecto de la aplicación de las auxinas.

Al analizar la respuesta de las raíces adventicias se observó que las estacas tratadas con ANA fueron las que presentaron la mayor capacidad de enraizamiento, esta respuesta coincide con Abedini (2005) quien encontró respuestas del 41 % con esta hormona en *Parkinsonia aculeata* L. Y con Ramos (2004b) en *Sequoia sempervirens* quien encontró un 53.17 % de estacas enraizadas con la aplicación de ANA a dosis más altas (4,000 ppm).

Las aplicaciones de ANA promovieron la producción de raíces ya que las longitudes obtenidas con este producto en sus dos diferentes concentraciones fueron las más aceptadas: Esto coincide con Santiago (1998) en donde con dosis de 1,000 mg l⁻¹ encontró el mayor porcentaje de enraizamiento en *Tilia mexicana* Schl. No obstante, Suárez (1986) y Navarrete (2009) mencionan que debe evitarse concentraciones excesivas de esta hormona por el peligro de provocar daños a las plantas e inhibir una respuesta satisfactoria, ya que a pesar de tener eficacia en el enraizamiento se trata de un compuesto más tóxico que el AIB.

En cuanto a AIB a 500 mg l⁻¹ a pesar de haber presentado baja sobrevivencia obtuvo un buen número de raíces. Esto coincide con Abedini (2005) el cual menciona que con concentraciones altas (mayor a 100 ppm) se puede encontrar mayor cantidad de enraizamiento.

Debido a que las estacas que presentaron respuesta a esta variable previamente tuvieron callo; se puede afirmar que este último se considera una condición necesaria



para la emisión de raíces en esta especie. Santiago (1998) menciona que esto se debe a que las estacas que llegan a presentar callo y raíz al final del ensayo sus hojas están fotosintéticamente activas y quizá la concentración de fotosintatos en ellas ocasione un alto potencial hídrico que repercute en una menor pérdida de agua. También pudo deberse a lo descrito por Benítez (2002) en donde indica que en árboles de clima templado, los esquejes obtenidos de ramas de madera blanda y juveniles, enraízan más fácilmente.

Ensayo 2

Sobrevivencia

Los resultados obtenidos indicaron que el tratamiento 13 (Radix 10,000 al contacto) tuvo mayor tendencia a la sobrevivencia ($Me=3$), esto coincidió con Prieto (1992) en *Cupressus guadalupensis* S. Watts y con Pérez (1983) en *Thuja orientalis* L. en donde al utilizar este producto comercial encontraron resultados mayores al 50 %, esto probablemente se debe a que contiene 10,000 ppm AIB principal sustancia promotora del enraizamiento y carece de toxicidad para las plantas. El mismo autor asegura que utilizando concentraciones mayores a 7,000 ppm de esta hormona se obtendrán mejores resultados. No obstante, no hubo diferencia estadística significativa de los tratamientos con respecto al desarrollo de árbol.

Otro factor que pudo influir en una respuesta baja es que a pesar de la colocación de la malla sombra y de haber tomado las precauciones necesarias para evitar la deshidratación del material vegetal como: la ventilación en el invernadero y la colocación de una malla sombra. En esta época (primavera) la temperatura adentro del invernadero aumentó lo cual pudo disminuir la intensidad de transpiración de las estacas (Prieto, 1992). O bien pudo deberse a lo que menciona Hartmann y Kester (1987) sobre la acumulación de inhibidores en el tallo y hojas que se presenta en las estacas cuyas especies enraízan con dificultad ya que poseen un contenido de inhibidores altos.



Callo y raíz

En ambas variables no hubo respuesta con los tratamientos aplicados, lo cual difiere con el ensayo 1. La diferencia radica en el periodo en el cual se colectó el material (estación de verano) y en el que estuvo establecido el ensayo (estaciones de verano y otoño) (Mesén, 1998).

Por otra parte, las estacas evaluadas al final del periodo mostraron colores verde, amarillo y café, o bien signos de pudrición en el tallo, lo cual posiblemente estuvo asociado a variables no controlables. Esto último pudo haber limitado una respuesta a las variables de callo y raíz. El proceso de defoliación y posterior pudrición de la mayoría de las estacas al término del ensayo coincide con lo descrito por Santelices (2007) en trabajos realizados para *Nothofagus glauca* (Phil.), quien obtuvo en promedio solo un 15 % en la supervivencia. Debido a que podría existir algún cofactor sintetizado en las hojas dependiendo de la época del año en que se cosechan las estacas.

A pesar de que la primavera es una de las estaciones del año en que las plantas presentan mayor actividad metabólica, en esta ocasión los resultados demostraron que la respuesta al enraizado de esquejes tal vez no fue el apropiado, ya que esta fue la época que mayor mortalidad presentó.

Ensayo 3. Respuestas debidas a diferentes temporadas de crecimiento de la estaca.

Sobrevivencia

Los tratamientos que mostraron la mayor tendencia a la sobrevivencia en estacas ≥ 5 verticilos fueron el 1, 2, y 8 (Me=4). Los resultados del tratamiento 1 (testigo) fueron similares a los obtenidos por Aparicio (2008) en *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa. Esta respuesta probablemente se deba a que existio liberación y traslocación de hormonas endógenas, y a que las hojas aportaron azúcares lo que les permitio sobrevivir (Santiago, 1998; Vargas, 1999; Santelices, 2005 y 2007), mientras que la respuesta del tratamiento 2 (AIB 1,500 mg l⁻¹) coincide con Latsague *et al.* (2008) en *Berberidopsis corallina* el cual encontro resultados de sobrevivencia del 60 % con la aplicación de la misma dosis, este mismo autor atribuye esta respuesta a que las condiciones en las



que estuvieron las estacas fueron adecuadas para el proceso de arraigamiento. En cuanto al tratamiento 8 (AIA 1,500 mg l⁻¹) existe contraste en el resultado obtenido, pues de acuerdo con Mesén (1998) el uso de este producto no es muy favorable debido a que las plantas poseen mecanismos que remueven el AIA de sus sistemas, conjugándolo con otros compuestos o destruyéndolo, reduciendo su efectividad. Pero coincide con Latsague *et al.* (2008) ya que menciona que a medida que aumenta la concentración de una solución hormonal de (1,000 mg l⁻¹ a 1,500 mg l⁻¹) aumenta el número de sobrevivencia.

En cuanto a las estacas < 5 verticilos la mejor respuesta se obtuvo en el tratamiento 12 (Radix 3,000 aplicado al contacto) (Me=5). Esto coincide con Soto *et al.*, (2006) en *Ficus benjamina* L., el cual al aplicar la misma hormona obtuvo un 73.3 % de sobrevivencia en la época de verano, mencionando que esta respuesta pudo deberse a un alto contenido de carbohidratos que funcionan dentro de la planta como reserva para su sobrevivencia.

Por otra parte, el análisis hecho para determinar el efecto de los tratamientos en estacas de diferentes años mostró que aquellas correspondientes al penúltimo año de crecimiento (2009) presentaron mayor mortalidad; únicamente el tratamiento 12 (Radix 3,000 aplicado al contacto) dió el mejor resultado (Me=3.5). En cuanto a las correspondientes al último año de crecimiento (2010) se pudo observar que las estacas que fueron tratadas con los tratamientos 1 (testigo), 2 (AIB 1,500 mg l⁻¹), 4 (AIB 500 mg l⁻¹), 8 (AIA 1,500 mg l⁻¹) y 12 (Radix 3,000 mg l⁻¹) presentaron la mediana más alta (Me= 5). Las respuestas de estas auxinas se pueden explicar y comparar de la misma forma a los descrito anteriormente para las estacas ≥ y < 5 verticilos.

Las diferencias significativas en estacas correspondientes al último año de desarrollo (2010), las cuales duraron más tiempo con hojas verdes y turgentes sin enraizar, se atribuyen a que se trataban de estacas jóvenes lo cual es un factor muy importante ya que estas siempre obtendrán mejores resultados que aquellas tomadas de árboles maduros, es posible que la relación entre el estado juvenil y la capacidad de sobrevivencia pueda explicarse por el incremento en la producción de inhibidores a medida que la planta aumenta con la edad (Navarete, 2004) o a que las auxinas se



sintetizan mejor en hojas jóvenes García (2002). Por otro lado Hartmann y Kester (1987) mencionan que las estacas juveniles son más efectivas por la mayor actividad hormonal que presentan las plantas madres en el tallo y a la menor lignificación de la madera; lo cual favorece una mejor respuesta si se colocan en condiciones ambientales adecuadas.

Callo y raíz

En este caso los tratamientos no presentaron respuesta a la presencia de callo y raíz. Esto muy probablemente está asociado a la época de establecimiento del ensayo ya que en verano aumenta la concentración de fenoles que podrían inducir la oxidación de auxinas lo cual inhibe la formación de raíces adventicias, tal como lo señala Santelices (2007) para *Nothofagus glauca* (Phil.).

Ensayo 4: Respuestas debidas a la exposición de estaca a radiación solar

Sobrevivencia

A pesar de que el tratamiento 4 (AIB 500 mg l⁻¹ aplicado durante quince minutos) fue uno de los tratamientos con la mejor sobrevivencia es necesario indicar que se trató de un valor bajo (Me=2). Esta respuesta coincide con Latsague *et al.* (2008 y 2009) ya que al usar la misma concentración hormonal obtuvieron porcentajes del 52 % y 56 % de sobrevivencia en *Berberidopsis Corallina* Hook. F. y en *Eucryphia glutinosa* (Poepp. & Endl.) Baill respectivamente.

El tratamiento 6 (ANA 1,000 mg l⁻¹ aplicado durante quince minutos) que también tuvo una respuesta de (Me=2), aunque no significativa. Esto contrasta con Abedini (2005) en *Parkinsonia aculeata* L. en donde mencionó que con concentraciones más altas de 0.1 a 5 ppm disminuye el número de sobrevivencia.

Se registran efectos positivos de esta hormona a la misma concentración en otra especie como *Chlorophora tinctoria* (L) Gaud con una supervivencia del 83 % reportado por Ramos *et al.*, (2004a), esta se trata de una especie tropical lo cual probablemente le permitió sobrevivir y obtener buenos resultados ya que algunos autores Latsague *et al.* (2008 y 2009) mencionan que algunas especies de climas cálidos son más fáciles de propagar que las de climas fríos; como el caso de *Pseudotsuga menziesii*. Lo cual



posiblemente fue un factor que propició una respuesta tan baja, ya que se sabe que la época óptima para la propagación de estacas varía según las especies, esto en función principalmente de la concentración de hormonas en las hojas acompañado de la temperatura ambiental y basal (del sustrato) (Santiago, 1998).

Por otra parte Santiago (1998), realizó un ensayo que abarcó gran parte de la época de primavera (21 marzo al 9 de mayo) en *Tilia mexicana Schl.*; en el que aplicando ANA + AIB a 1,000 ppm obtuvo buenos resultados en aquellas estacas a las que se les aumentó la temperatura del sustrato 26 (°C) que por ende iba acompañado de una temperatura ambiental alta debido a la época de establecimiento. Esta respuesta contrasta con *Pseudotsuga* ya que a pesar de haber tenido una temperatura ambiental alta, la respuesta de sobrevivencia fue muy baja. La mortalidad de la estaca está asociada a la toxicidad de la hormona pues se ha determinado que a pesar de tener ventajas de estabilidad se trata un regulador con mayor toxicidad que AIB (Suárez, 1986; Navarrete 2009).

Aunado a lo anterior, la alta mortalidad que se presentó en los dos tratamientos muy probablemente se debió a la exposición de las estacas a la incidencia de radiación solar, puesto que a pesar de que se establecieron dentro de invernadero y no las recibieron de manera directa; carecieron de la protección de malla sombra, esta respuesta contrasta con Soto *et al.*, (2006) en *Ficus benjamina* L. en donde obtuvo el mayor porcentaje de sobrevivencia en la época de primavera, encontrando también el mayor contenido de azúcares (reservas para su sobrevivencia) en esa temporada. Es así que se piensa en el caso de *Pseudotsuga* al no tratarse de una especie tropical como lo es el *Ficus* posiblemente perdió rápidamente sus reservas lo cual provocó una alta mortalidad.

Otra razón podría atribuirse a que al no contar con malla sombra la temperatura en el medio de enraizamiento, durante el día, fuera muy alta. Lo que posiblemente coincide con lo descrito por Ruano (2008) el cual indica que la absorción de la radiación solar es mayor en envases de colores oscuros, por lo que la temperatura del sustrato también aumenta. Por otro lado menciona que en experimentos de tres especies



ornamentales el cambio del envase de color negro a blanco, reducía las temperaturas del sustrato en 7 °C y producía plantas sensiblemente de mejor calidad.

Callo y raíz

La ausencia de respuesta a estas variables se atribuye a la exposición de la estaca a la radiación solar de forma indirecta (bajo invernadero) ya que se sabe que la aplicación de calor en la base de las estacas acelera la formación de callo siempre y cuando no rebase los rangos apropiados (20-24 °C). Cuando una estaca se coloca en condiciones ambientales favorables para el enraizamiento generalmente desarrolla cierta cantidad de callo y raíz (Sepulveda, 2004). Santiago (1998) observó que en *Tilia mexicana* Schl. la temperatura del sustrato es muy importante, y que el porcentaje de estacas con callo se favorece al aumentar en la parte basal a más de 20 °C, ya que se incrementa el metabolismo de las plantas estimulando la formación de callo.

Se deduce que la interacción entre la temperatura del sustrato y la concentración adecuada de auxinas promueve sobre la formación del callo. Al respecto, se considera que los tratamientos 4 y 6 pudieron haber promovido la presencia de raíz de haberse logrado la temperatura óptima del sustrato, ya que su respuesta en cuanto a la sobrevivencia superó el 50 %. Es muy probable que se haya sobrepasado la temperatura óptima debido a que el ensayo estuvo en los meses de mayor calor (estación de primavera).

Ensayo 5 y 6: Respuestas debidas a la preparación de la estaca y su exposición a sombra o radiación solar

Ensayo 5

Sobrevivencia

A las estacas de este ensayo no les fue colocada la malla sombra, por lo que recibieron mayor incidencia de luz indirecta, ya que se encontraban dentro del invernadero. Esto posiblemente provocó una temperatura más elevada durante el día que pudo haber debilitado y propiciado la muerte de las estacas, lo que redujo la disponibilidad de oxígeno e incrementó la tasa de transpiración y respiración, agotando las reservas alimenticias (Prieto, 1992). Cuando se pierde el contenido de agua almacenada, se



dañan los órganos y tejidos celulares provocando la muerte (Inzunza, 2007). Lo anterior, explica los altos niveles de mortalidad para este ensayo.

Otra razón puede ser debido a lo informado por Álvarez (2007) y García (2002) quienes mencionan que la parte aérea está mucho más expuesta que la raíz a variables como niveles de luz. Evidencias experimentales indican que las variables ambientales pueden influenciar el movimiento de auxinas y la producción de etileno en la parte aérea. Hartman y Kester (1987) recomiendan que se debe evitar una temperatura del aire superior a la del sustrato en que se encuentra la estaca, porque se tiende a estimular el desarrollo de las yemas vegetativas con anticipación al desarrollo de las raíces y a incrementar la pérdida de agua por las hojas.

Callo y raíz

También se infiere que la incisión realizada en la parte basal de las estacas posiblemente afectó el tejido, ya que al momento de evaluar las estacas muertas se observó que estas se encontraban desnudas; es decir, sin corteza en el lugar en donde se les había realizado la incisión, esto contrasta con Vargas (1999) en *Chrysobalanus icaco* L. el cual menciona que en diversas especies la interacción entre la auxina y la herida es benéfica porque se incrementa la respiración del agua y la síntesis de cofactores de enraizamiento como el etileno.

Las respuestas obtenidas, probablemente, también se debieron a que para el enraizamiento se requiere cierta cantidad de luz que permita una tasa adecuada de fotosíntesis en las estacas. De igual forma, la irradiación excesiva pudo haber provocado el cierre de estomas y la reducción del intercambio gaseoso (Mesén, 1998).

Ensayo 6.

Sobrevivencia

El tratamiento 3 (AIB 500 mg l⁻¹) presentó la mejor respuesta (Me=5) esto se asemeja a lo reportado por Latsague *et al.* (2009) el cual al propagar *Eucryphia glutinosa* (Poepp. & Endl.) Baill. encontró que a pesar de no haber encontrado diferencias significativas con dosis bajas (500 mg l⁻¹ de AIB) esta hormona obtuvo los mejores resultados de sobrevivencia (76%). Esta respuesta posiblemente se deba a la temporada en la que



fue establecido el ensayo. Esta fue en otoño hacia el final de la época de lluvias, esto coincide con Bonfil *et al.* (2007) en donde cuatro especies de *Bursera* tampoco produjeron raíces. Esta época del año posiblemente fue determinante en las concentraciones de sustancias endógenas en las estacas. Asimismo, en otoño las plantas acumulan ácido abscísico en sus hojas para entrar al letargo invernal, el cual acelera la defoliación y se eliminan cofactores: ácido indolacrílico, biotina, compuestos terpenlactónicos y fenólicos, que actúan en la rizogénesis. Estos cofactores antagonizan la acción de los fitorreguladores promotores del mismo y ejercen una gran variedad de efectos sobre el metabolismo vegetal (Santiago, 1998). Por otra parte Brix (1974), citado por Prieto (1992), vió que en *Pseudotsuga menziesii*, la existencia de aire frío en el ambiente, combinado con un medio de enraizamiento caliente, es benéfico para el arraigamiento de estacas en otoño.

Callo y raíz

Se observó que el tratamiento 6, en donde se aplicó (AIA 1,000 mg l⁻¹ durante quince minutos) existió la presencia de callo aunque con muy baja respuesta (Me=1.5) esto posiblemente se deba a lo referido por Mesén (1998) quien indicó que la efectividad de esta hormona no es efectiva, o a lo reportado por Santiago (1998) quien menciona que esta hormona es muy inestable en las plantas y se descompone rápidamente; puesto que los rayos fuertes del sol pueden destruir en 15 minutos una solución de 10 ppm de AIA.

Aunque no se encontró presencia de raíz, la respuesta de callo en este periodo posiblemente fue a que las estacas del material del cual se tomaron correspondió a individuos jóvenes (1.5 años). Esto coincide con Aparicio (2008) quien utilizó estacas tomadas de setos de *Pinus Jaliscana* Pérez de la Rosa de 18 meses de edad, encontrando resultados de hasta el 100 % de enraizamiento, concluyendo que utilizando material parental joven, el proceso de enraizado será más efectivo, ya que el arraigamiento de estacas de un orteto es directamente proporcional a la juvenilidad del mismo.



Ensayo 7: Respuestas debidas a la preparación de la estaca

Sobrevivencia

El tratamiento 9 (AIA 1,000 mg l⁻¹ aplicado durante quince minutos) obtuvo la respuesta mas alta (Me=3.5), realmente se trata de un valor bajo de sobrevivencia, esto talvez de deba a lo informado por Santiago (1998) en donde asegura que esta hormona es muy inestable en las plantas y se descompone rapidamente; puesto que los rayos fuertes del sol pueden destruirla, haciendo referencia a esto se debe tomar en cuenta que estas estacas fueron establecidas en primavera (época de calor), lo cual tuvo fuerte impacto en su respuesta. También asegura que en concentraciones altas mayores a 1,000 mg l⁻¹ se genera mucha mortalidad en estacas con lesión, por la presencia de toxicidad en esta sustancia, es así que se cree que los esquejes con incisión estuvieron mas expuestos a esta hormona y en ves de obtener buenos resultados propicio su baja respuesta.

Las estacas a las que no se les realizó incisión mostraron menor dispersión de datos en comparación a las que si les fue realizada. Respuesta que contrasta con Santiago (1998) en *Tilia mexicana* Schl. en donde si obtuvo buenos resultados de estacas a las que se les realizó una incisión.

Callo y raíz

En este ensayo se consideró que la lesión estimularía la formación de callo ya que existe una mayor superficie de contacto de los tejidos meristemáticos con las sustancias aplicadas, permitiendo absorber mayor cantidad de ellas. Por otra parte, se sabe que la herida estimula a los tejidos para que entren en división celular y con ello producir callo en un intento por cicatrizar. Sin embargo, estos resultados no obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre estacas con y sin lesión. La muerte de algunas estacas con lesión se pudo deber principalmente a dos factores: la pudrición de la base de las estacas debido al daño en el tejido y a la pérdida de follaje de las mismas Santiago, 1998).



Ensayo 8: Respuestas debidas a la preparación de la estaca y diferentes temporadas de crecimiento de la estaca.

Sobrevivencia

La respuesta más alta a la sobrevivencia de las estacas a las que se les realizó la incisión corresponde a AIB ($1,000 \text{ mg l}^{-1}$) ($Me=3.5$) valor que corresponde al 70 % de sobrevivencia. esto coincide con Delgado *et al.*, (2008) en taique (*Desfontainia spinosa*) en el cual con la aplicación de AIB a $1,000 \text{ mg l}^{-1}$ obtuvo el 67 % de enraizamiento en la supervivencia.

En cuanto al producto comercial Radix ($3,000 \text{ mg l}^{-1}$), el cual también obtuvo la misma mediana ($Me=3.5$) su resultado coincide con el estudio realizado por Delgado *et al.*, (2008) para tepe (*Laureliopsis philippiana*), en el que encontró uno de los valores mas altos de sobrevivencia 23 % con la aplicación de la misma dosis de hormona.

En cuanto al grupo de estacas a las que no se les realizó incisión, el tratamiento 10 (AIA a 500 mg l^{-1}) obtuvo el valor mas alto del ensayo ($Me=5$), lo que corresponderia al 100 % de sobrevivencia, esta respuesta contrasta por lo mencionado por Mesén (1998) en cuanto a la efectividad de esta hormona y a lo reportado, por Santiago (1998) en donde asegura que esta hormona es muy inestable en las plantas y se descompone rapidamente. Se cree que esta alta sobrevivencia se debió a lo descrito por Zaldivar (2011) para *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco el cual asegura que la estación del año en la que se realiza la colecta del material es importante para lograr una respuesta favorable del tejido en donde concluyó que el verano lo cual coincide con la época de establecimiento de este experimento, es el ideal ya que el tejido se encuentra en una etapa de crecimiento y desarrollo, y no en hibernación como en otoño e invierno.

El tratamiento 1 (testigo) también obtuvo la mejor respuesta ($Me=5$), esto contrasta con Santiago (1998) ya que en su experimento las estacas sin aplicación de hormonas presentaron alta mortalidad (85 %). Por otra parte, Aparicio (2006 y 2008) reportó resultados favorables respecto a *Pinus Jaliscana* sin la aplicación de hormona logrando un 89 % y 100 % de sobrevivencia, esto demuestra una respuesta similar y poco variable en cuanto a la capacidad de las estacas para sobrevivir ya que con y sin la



aplicación del ácido indol-3-butírico se logró la obtención de clones. Esta respuesta posiblemente se deba a que la presencia de hojas tienen una fuerte influencia en la sobrevivencia ya que son tejidos ricos en auxinas (Santelices, 2007).

Los resultados de este ensayo muestran que las estacas 2010 tuvieron el valor más elevado de sobrevivencia. Esto se atribuye básicamente a que tenían tejido más joven (al provenir de madera formada en el último año de crecimiento), y por lo tanto, estaba menos lignificado en comparación con las 2009. Como estas son formas juveniles de arboles maduros es posible que lo anterior se deba a lo señalado por Hartmann y Kester (1987) en que estacas tomadas en la fase de desarrollo juvenil del crecimiento, obtienen mejores resultados que en aquellas tomadas de plantas que están en la fase adulta. Por otra parte Santiago (1998) menciona que los compuestos químicos del grupo auxínico surten mejores efectos al aplicarse a estacas de plantas poco lignificadas en comparación con las estacas procedentes de madera dura.

Callo y raíz

A pesar de que algunos autores como Santiago (1998) en *Tilia mexicana* Schl. mencionan que la lesión en la parte basal de la estaca favorece el enraizado. Para el caso de *Pseudotsuga menziesii* no fue así. Esta respuesta posiblemente se debió a que no hubo un buen incremento en la respiración a causa de la herida, tampoco una buena absorción del agua y no existió síntesis de cofactores del enraizamiento como el etileno (Vargas, 1999).

Ensayos 9 y 10: Respuestas debidas a diferencias de edad y preparación de la estaca

Ensayo 9

Sobrevivencia

Se pudo apreciar que los mejores resultados (Me=5) de sobrevivencia la obtuvieron los tratamientos en donde se utilizó Radix en sus dos formas comerciales (3,000 mg l⁻¹ y 10,000 mg l⁻¹ al contacto).



La respuesta de Radix 3000 coincide con Soto *et al.*, (2006) en *Ficus benjamina* L. el cual al aplicar la misma hormona obtuvo un alto porcentaje (73.3%) de sobrevivencia. En cuanto a Radix 10,000, la respuesta coincide con Bonfil (2007) para *Bursera fagaroides* y Prieto (1992) en *Cupressus guadalupensis* S. Wats, los cuales presentaron resultados similares a los de *Pseudotsuga* con 100 % y 90 % respectivamente de sobrevivencia. Las respuestas de estos tratamientos posiblemente se deba a lo informado por Navarete (2004) sobre que (AIB) es la hormona mas estable y menos soluble, ademas de que se desplaza muy poco y se retiene cerca del sitio de aplicación por mas tiempo.

Otro factor que pudo influir en estos resultados es que las estacas utilizadas provenían de arboles desarrollados en un vivero, en donde se les proporcionó de forma periódica riego y fertilización, además de regular la temperatura y humedad durante su desarrollo, a diferencia de estacas provenientes de un bosque natural las cuales estan expuestas a variaciones de los parametros antes mencionados.

Callo y raíz

A pesar de la procedencia de estos arboles no se obtuvo ninguna respuesta en estas variables, aun tratandose de material joven. Esto posiblemente se debe a lo que menciona Greenwood (1995) en que los cambios de maduración son particularmente persistentes y difíciles en las coníferas. Hartmann y Kester (1987) y Ramos (2004b) mencionan que en algunas especies de coníferas (*Pseudotsuga menziesii* y *Pinus radiata*) y latifoliadas de difícil enraizamiento, el factor individual más importante que influye en el arraigamiento, es la edad de la planta madre de la cual se tomaron las estacas lo cual coincide totalmente con este trabajo. También hay que tomar en cuenta que las hormonas exógenas actúan de manera diferente en especies de un mismo género, en arboles de una misma especie, en estacas tomadas de diferentes partes de un mismo árbol e incluso en diferente posición de una ramilla.



Ensayo 10.

Sobrevivencia

La mejor tendencia a la sobrevivencia fue AIB (500 mg l⁻¹ durante quince minutos) (Me=4.5) lo que correspondería a un valor del 90%. Esta respuesta contrasta con Latsague *et al.* (2008 y 2009) ya que al usar la misma concentración hormonal obtuvieron porcentajes del 52 % y 56 % de sobrevivencia en *Berberidopsis Corallina* Hook. F. y en *Eucryphia glutinosa* (Poepp. & Endl.) Baill respectivamente.

ANA (1,000 mg l⁻¹ aplicado durante quince minutos) que también tuvo una respuesta de (Me=4.5) contrasta con Abedini (2005) en *Parkinsonia aculeata* L. en donde mencionó que con concentraciones más altas de 1,000 ppm disminuye el número de sobrevivencia. La favorable respuesta de AIA (1,500 mg l⁻¹ aplicado durante quince minutos) contrasta con Alvarez *et al.* (2004) en *Chrysophyllum cainito* L. ya que al utilizar AIA a la misma dosis solo obtuvo el 25 % de sobrevivencia.

A pesar de no haber encontrado diferencias significativas entre estos tratamientos, las respuestas se atribuyen a lo descrito por Vargas (1999) quien menciona que en diversas especies la interacción entre la auxina y la herida es benéfica porque se incrementa la respiración la absorción del agua y la síntesis de cofactores de enraizamiento como el etileno. Las estacas a las que o se les realizó incisión y presentaron buena tendencia a la sobrevivencia, posiblemente de debió a lo informado por Latsague *et al.* (2007) en el que mencionó que al haber una disminución de la actividad oxidativa de AIA en la parte basal de las estacas aumenta la probabilidad de sobrevivencia y enraizamiento.

Callo y raíz

No fue posible obtener respuesta de alguna de estas variables, a pesar de algunas recomendaciones que hace Santiago (1998) sobre la realización de una lesión en la base de la estaca que favorece el arraigamiento. Ruiz *et al.* (2005) en un estudio realizado para *Gmelina arborea* Roxb., menciona que entre los tipos de estaca y la concentración de hormona aplicada, el factor determinante en la capacidad de



enraizado es el gradiente endógenos de fitohormonas que existe en cada una de ellas. Estos factores posiblemente fueron la causa de que no se haya llegado a obtener raíz.

O a factores no controlados dentro del invernadero, como que el sistema de riego no estuvo regulado por la humedad relativa del ambiente. Por otro lado, hubieron sectores dentro de las mesas de propagación que el riego no abarco, por lo que se dio como solución a este problema el riego manual. Con esta solución no se obtuvieron buenos resultados durante esta época del año, donde las temperaturas comenzaron a subir, bajando la temperatura del aire de las hojas disminuyendo así el grado de transpiración y aumentando la mortalidad de los esquejes producto de la deshidratación de estos (Delgado, 2008).



9. CONCLUSIONES

- Se logró la mayor tasa de sobrevivencia con valores de hasta el 100 % con la aplicación de los productos comerciales Radix 3,000 y 10,000 ppm.
- No se observó un claro efecto de las auxinas con respecto a la presencia de callo ya que solo se pudo inducir la formación de callo en algunas estacas durante la época de invierno y otoño. Las estacas que no fueron tratadas con hormonas también lograron emitir la formación de callo aunque en menor proporción y cantidad.
- Aunque no se obtuvo el enraizamiento que se esperaba es importante señalar que invierno fue la mejor época para la producción de raíz, ya que las estacas correspondientes a primavera, verano y otoño no lograron emitir raíces.
- Los efectos producidos en el enraizamiento no fueron significativos; sin embargo, las estacas con mayor número de raíces correspondieron a los tratamientos ANA 1,000 y AIB 500 ppm.
- La formación de callo va directamente relacionada con la formación de raíces, ya que las estacas que presentaron raíz, desarrollaron inicialmente la formación de callo.
- La mejor época para la sobrevivencia de las estacas fue durante el verano y probablemente se debió a que en esa temporada la planta presentó un alto contenido de almidón y de otros carbohidratos que se acumulan en verano.
- No existió un efecto significativo entre estacas procedentes de bosque natural y vivero forestal sobre la sobrevivencia.
- Las estacas obtenidas de un año más de lignificación 2009 presentaron mayor porcentaje de mortalidad en comparación con las estacas que se tomaron de rebrotes o del año más reciente (2010), pero no se encontraron diferencias entre ellas en ninguna.



- Existió mejor efecto de supervivencia en estacas procedentes de plantas madres menores a 5 verticilos debido a la juvenilidad los individuos.
- Las estacas sin incisión en la base de la estaca mostraron mejor efecto sobre la supervivencia.

10. RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones, es posible recomendar los aspectos siguientes:

- 1.- Estudiar con mayor profundidad el efecto de enraizamiento durante la época de invierno.
- 2.- Evaluar el enraizamiento de estacas de *Pseudotsuga* bajo condiciones ambientales que le sean aún más favorables utilizando sistemas de camas calientes.
- 3.- Utilizar otros métodos de aplicación de reguladores de crecimiento.
- 4.- Probar diferentes mezclas de sustratos.
- 5.- Probar con otros reguladores de crecimiento (hormonas) a distintas concentraciones.
- 6.- Emplear mayor número de replicas para obtener un buen diseño estadístico.



11. BIBLIOGRAFÍA

- Abedini, W. 2005. Propagación vegetativa de *Parkinsonia aculeata* L. por estaquillado. Revista de Ciencias Forestales-Quebracho N°. 12 (23-33).
- Acevedo, R. R. 1998. Estudio sinecológico del bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *oaxacana* Debreczy & Rácz, en la zona de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 105 p.
- Aguilar R., A. 2007. Estructura del bosque templado en la comunidad de Santa María Yavesía, en la Sierra de Juárez, Oax., México. Tesis profesional. Facultad de ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Méx. D.F. 86 p.
- Álvarez R., C. Graterol., I. Quintero., J. Zambrano., W. Materano y M. Maffei. 2004. Evaluación de algunos métodos y prácticas de propagación en caimito *Chrysophyllum cainito* L. I Sexual. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 21 Sup I (1):47-53.
- Álvarez H., J. G., S. Lusardo R. y E. Chacón. 2007. Efecto de diferentes tamaños de esqueje y sustratos en la propagación del romero (*Rosmarinus officinalis* L.). Agronomía Colombiana 25(2), 224-230.
- Aparicio R., A., V. Rebolledo C., y H. Cruz J. 2006. Multiplicación clonal de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa a través de la técnica de enraizamiento de estacas. Foresta Veracruzana 8(2): 19-26.
- Aparicio R., A. H. Cruz J., y O. Montiel R. C. 2008. Multiplicación clonal de pinos a través del uso de estacas: una alternativa para mantener ganancias genéticas forestales. Foresta Veracruzana 10(1): 53-58.
- Aparicio A., M. Pastorino, A. Martínez M., y L. Gallo. 2009. Propagación vegetativa del ciprés de la cordillera, una especie vulnerable del bosque subantártico de Sudamérica. Bosque 30(1): 18-26.



- Benítez P., D., F. Flores V. y J. I. Valdez H. 2002. Reproducción vegetativa de dos especies arbóreas en un manglar de la costa norte del pacífico mexicano. *Madera y Bosques* 8(2), 2002:57-71.
- Berner N., K. A. 2004. Estudio ontogenético del porcentaje de enraizamiento para la especie *Ulmo* (*Eucryphia cordifolia* Cav.) en ambientes controlados. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 28 p.
- Bonfil S., C., P. E. Mendoza H., y J. A. Ulloa N. 2007. Enraizamiento y formación de callos en estacas de siete especies del género *Bursera*. *Agrociencia* 41: 103-109.
- Brix, H. 1974. Rooting of cuttings from mature Douglas-fir. *N. Z. J. For. Sci.* 4 (2): - 139.
- Cruz N., J., J. J. Vargas H., P. Ramírez V., y J. López U. 2008. Patrón de cruzamiento en poblaciones naturales de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, en México. *Agrociencia* 42: 367-378.
- Domínguez A., F. A., J. J. Vargas H., J. López U., P. Ramírez V., y E. Guízar N. 2004. Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. *Anales del Instituto de Biología (UNAM)* 75(2): 191-203.
- De León A. J. 1997. Contribución al conocimiento tecnológico de la madera de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco del Estado de Durango. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 66 p.
- Delgado F., M., M. Cuba., P. Hechenleitner y O. Thiers. 2008. Propagación vegetativa de taique (*Desfontainia spinosa*) y tepa (*Laureliopsis philippiana*) con fines ornamentales. *Bosque* 29(2): 120-126.
- Domínguez A., F. A. 1986. Estudio ecológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco, en la región de Huayacocotla Ver. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 266 p.



- Domínguez A., F.A. 1994. Análisis histórico – ecológico de los bosques de *Pseudotsuga* en México. INIFAP – CIR Golfo Centro. Folleto Técnico N° 23. 43p.
- Domínguez A., F. A., J. J. Vargas H., J. López U., P. Ramírez V. y E. Guízar N. 2004. Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. Serie Botánica 75(2): 191-203.
- García, M., J. J. 2002. Influencia de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre la plasticidad fenotípica del *Pinus pseudostrobus* Lindl. (PINACEAE). Tesis de doctorado. Departamento de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad de Colima. Tecomán, México. 126 p.
- Gerding V., M. E. Hermosilla, y R. Grez. 1996. Sustratos de corteza compostada para la propagación vegetativa de estacas de tallo de *Podocarpus nubigena* Lindl, y *Eucryphia cordifolia*. Cav. Bosque 17(2): 57-64
- Greenwood M, S. 1995. Juvenility and maturation in conifers: current concepts. Tree Physiology. Volume 15, Issue 7-8 Pp. 433-438
- Hartmann H. y D. Kester. 1987. Propagación de plantas, principios y prácticas. Editorial Contiental. México. 760 p.
- Inzunza, O., R. J. 2007. Efecto de la concentración de nutrientes sobre la producción de estacas de setos hidropónicos de *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. et Mil. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia. 27 p.
- Juárez A., A., J. López U., J. J. Vargas H., y C. Sáenz R. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de *Pseudotsuga menziesii* de México. Agrociencia 40:783-792.
- Latsague V., M., P. Sáez D., y J. Yañez D. 2009. Efecto del ácido indolbutírico en la capacidad rizogénica de estacas de *Eucryphia glutinosa*. Bosque 30(2): 102-105.



- Latsague V., M., P. Sáez D., y E. Hauenstein B. 2008. Inducción de enraizamiento de estacas de *Berberidopsis carallina* con ácido indolbutírico. *Bosque* 29(3): 227-230.
- Latsague M., P. Sáez., M. Paredes y E. Alarcón. 2007. Actividad de AIA oxidasa en estacas de especies del género *Nothofagus*. *Bosque* 28(2): 139-141.
- Mápula L., M., J. López U., J. J. Vargas H., y A. Hernández L. 2008. Germinación y vigor de semillas de *Pseudotsuga menziesii* de México. *Ra Ximhai* 4(1): 119-134.
- Martínez C., G., J. López U., J. J. Vargas H., J. Jasso M., y V. Guerra de la C. 2007. Indicadores de maduración en conos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Rev. Fitotec. Méx.* 30(2): 191-199.
- Merino L., Alatorre G., Cabarle B., Chapela F., y Madrid S. 1997. El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad. 1ra ed., Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinaria, Cuernavaca Morelos, Méx. 182 p.
- Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Serie Técnica. Manual Técnico No. 30. Turrialba, C. R. CATIE. Proyecto de Semillas Forestales – PROFESOR. 36p.
- Nájera, M. F. 1990. Estudio ecológico de *Pseudotsuga menziesii* var. *Glauca* (Mayr) Franco, en la Unidad de Administración Forestal "Tepehuanes". Seminario de Titulación. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 87 p.
- Navarete, L. M. 2004. Propagación asexual de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Utilizando radix en diferentes concentraciones. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. México 40 p.



- Heaman, J. C. y J. N. Owens. 1972. Callus formation and root initiation in stem cuttings of Douglas – fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). Can J. For. Res. 2 (2):121-134.
- Pérez R., A. 1983. Efecto de tres fitorreguladores comerciales en el enraizamiento de estacas de Thuja (*Thuja orientalis*) en invernadero. Tesis profesional. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 67 p.
- Prieto, R., J. A. 1992. Estudio de algunos factores que influyen en la propagación por estaquillas de *Cupressus guadalupensis* S. WATS. Tesis de maestría. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 84 p.
- Queupumil, M., H. 2004. Evaluación de dos sistemas de riego microjet y goteo, con la utilización de dos sustratos (Turba y Tierra – Arena), en la propagación vegetativa por estacas de *Drimys winteri*, Forst, (Canelo) bajo condiciones de invernadero en la Comunidad indígena Millapan Romero. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad Católica de Temuco. Temuco-Chile. 53 p.
- Ramos L., N. Cruz y O. Villacís. 2004a Propagación vegetativa de *Chlorophora tinctoria* (L) Gaud con el uso de las hormonas estimuladoras del enraizamiento ANA y AIB. http://www.uteg.edu.ec/u_investigacion/biotecnologia/4.pdf. (08 de octubre de 2012).
- Ramos V., M. A. 2004b. Propagación vegetativa de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. A través de estacas. Tesis profesional. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago-Chile. 108 p.
- Reyes H., V. J., J. J., Vargas H., J.López U. y H. Vaquera H. 2005. Variación morfológica y anatómica en poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* (Pinaceae). Acta Botánica Mexicana **70**: 47-67.



- Rojas G., S. J. García L. y M. Alarcón R. 2004. Propagación asexual de plantas. Conceptos Básicos y Experiencias con Especies Amazónicas. Editorial Produmedios. Bogotá, Colombia. 55 p.
- Ruano, M., J. R. 2008. Viveros Forestales: Manual de Cultivo y Proyectos. Editor: Mundi-Prensa Libros S.A. 286 p.
- Ruiz G., R., J. J. Vargas H., V. M. Cetina A. y A. Villegas M. 2005. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina arborea* Roxb. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 28 (4): 319 – 326.
- Santelices, R. 2007. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y de la presencia de hojas en el arraigamiento de estacas de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser cosechadas en dos épocas diferentes. Ecología Austral 17:151-158.
- Santelices, R. 2005. Efecto del árbol madre sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii*. Bosque 26(3): 133-136.
- Santiago, G., D. 1998. Estudio de algunos factores que afectan el enraizamiento de estacas de *Tilia mexicana* Schl. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 73 p.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2001. Diario Oficial.
- Sepulveda, P., S. C. 2004. Efecto de diferentes dosis de AIB y fecha de recolección sobre la propagación de estacas semileñosas basales y apicales de olivo (*Olea europea* L.) de la variedad empeltre. Tesis Profesional. Facultad de ciencias agropecuarias y Forestales, Escuela de Agronomía. Universidad católica de Temuco. Temuco, Chile p. 67.
- Soto, L. E., J. Jasso M., J. J. Vargas H., H. González R. y V. M. Cetina A. 2006. Efecto de diferentes dosis de AIB sobre el enraizamiento de *Ficus benjamina* L. en diferentes épocas del año. Ra Ximhai 1665-0441.
- Suarez, A. R. 1986. Importancia de las hormonas de crecimiento en la germinación de semillas y el enraizamiento de estacas. Tesis Profesional. Facultad de



Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León. 78 p.

- Vargas S. G., G. Arellano-Ostoa y R. Soto-Hernández. 1999. Enraizamiento de estacas de Icaco (*Crysoalanus icaco* L.) sometidas a aplicaciones de auxinas. *Bioagro* 11(3): 103-108.
- Vásquez H. T. 2004. Caracterización ecológica de una localidad de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *Glauca* (Beissn.) Franco, en el estado de Puebla. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 53 p.
- Velasco G., M. V., J. López U., G. Ángeles P., J. Vargas H., y V. Guerra de la C. 2007. Dispersión de semillas de *Pseudotsuga menziesii* en poblaciones del centro de México. *Agrociencia* 41:121-131.
- Ventura, R., A. 2009. Caracterización y conservación de *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) Franco en la zona centro de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx. 123 p.
- Zaldivar, L. H. A. 2011. Establecimiento y multiplicación *in vitro* de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco. Tesis profesional. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México D.F. 50 p.