



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

PROPAGACIÓN DE *Acer negundo* POR MEDIO DE ESTACAS

TESIS

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS**

**Presenta:
ALINA GONZÁLEZ PULIDO**

**Bajo la supervisión de:
DR. DANTE A. RODRÍGUEZ TREJO**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Chapingo, Estado de México, Octubre de 2017.

PROPAGACIÓN VEGETATIVA MEDIANTE ESTACAS DE *Acer negundo*

Tesis realizada por (ALINA GONZÁLEZ PULIDO) bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR:



DR. DANTE A. RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR:



M. C. ALEJANDRO CORONA AMBRÍZ

ASESOR:



DR. JOSÉ A. GIL VERA CASTILLO

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1	Objetivos.....	3
1.2	Literatura citada	4
2	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1	Acer negundo	5
2.2	Propagación vegetativa	7
2.3	Calidad de planta.....	10
2.4	Trabajos anteriores referentes al tema	14
2.5	Literatura citada	16
3	ARTÍCULO “PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE <i>Acer negundo</i> POR MEDIO DE ESTACAS”	21
3.1	Introducción	21
3.2	Materiales y métodos.....	24
3.2.1	Recolección de estacas	24
3.2.2	Establecimiento del experimento.....	24
3.2.3	Etapas de cultivo.....	25
3.2.4	Diseño experimental y análisis estadístico	27
3.3	Resultados y discusión	27
3.3.1	Respuesta al tipo de estaca	29
3.3.2	Respuesta a la aplicación de enraizador	31
3.3.3	Respuesta al nivel de fertilización	32
3.3.4	Interacción enraizador*fertilización	33
3.3.5	Indicadores de calidad de planta	35
3.4	Conclusiones	37
3.5	Literatura citada	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis estadístico del enraizamiento de estacas	28
Cuadro 2. Resultados del análisis estadístico para variables evaluadas en laboratorio	29
Cuadro 3. Respuesta al tipo de estaca (promedio)	30
Cuadro 4. Respuesta a la aplicación de enraizador (promedio)	32
Cuadro 5. Respuesta al nivel de fertilización (promedio)	33
Cuadro 6. Análisis estadístico de índices de calidad de planta	36
Cuadro 7. Prueba de Tukey para índices de calidad de planta	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Largo del brote hasta la yema.....	34
Figura 2. Largo del brote hasta la punta de la hoja	34

AGRADECIMIENTOS

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

A la Universidad Autónoma Chapingo.

A los integrantes del Comité Asesor.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Alina González Pulido

Fecha de nacimiento: 20 de marzo de 1991

Lugar de nacimiento: Estado de México, México.

CURP: GOPA910320MMCNLL05

Profesión: Ing. En Restauración Forestal

Cédula profesional: 9607670

Desarrollo académico

Preparatoria: Preparatoria Agrícola en Universidad Autónoma Chapingo durante los años: 2006 a 2009.

Licenciatura: Ingeniería en Restauración Forestal en Universidad Autónoma Chapingo durante los años: 2009 a 2013.

RESUMEN GENERAL

Propagación vegetativa de *Acer negundo* por medio de estacas

En los últimos años ha aumentado el interés por la propagación vegetativa de plantas y árboles, debido a la demanda que se hace cada vez en mayores cantidades y más corto tiempo. El objetivo de esta investigación fue evaluar las características de tipo de estaca, aplicación de enraizador y nivel de fertilización, con relación al enraizamiento y calidad de planta de estacas de *Acer negundo* L. Se colocaron un total de 480 estacas en charola forestal y luego de cuatro meses, se evaluaron. Las estacas duras fueron superiores en los valores de: diámetro del cuello del brote (2.68 mm), largo del brote a la yema (71.85 mm) y hasta la punta de las hojas (214 mm). La aplicación de enraizador a las estacas produjo mayores valores en: largo del brote a la yema (69.4 mm) y hasta la punta de las hojas (214.3 mm), así como en los pesos de las hojas para peso fresco (3.78 g) y peso seco (0.72 g). No se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias para los niveles de fertilización. La interacción del enraizador y el fertilizante tuvo efectos sobre las variables largo del brote hasta la yema y hasta la punta de la hoja. El análisis de la relación peso seco de hojas / peso seco de raíces no se fue estadísticamente significativo. Los mejores resultados en cuanto al índice de Dickson se dieron para las estacas duras (3.12).

Palabras clave: Propagación vegetativa, *Acer negundo*, estacas, calidad de planta.

GENERAL ABSTRACT

Vegetative propagation of *Acer negundo* by cuttings

In recent years has increased the interest in the vegetative propagation of plants and trees, due to the higher plant demand and to the lower production time that this technology involves. The objective of this research was to evaluate the characteristics of cutting type, application of auxins and fertilization in relation to the rooting and quality of *Acer negundo* L. cuttings. A total of 480 cuttings were placed in forest container and four months later, were evaluated. The hard cuttings were superior for the values of: shoot sprout diameter (2.68 mm), length of shootsprouts from its base to its bud (71.85 mm) and to the tip of the leaf (214 mm). The application of auxins to the cuttings produced higher values in: length of shootsprouts from it base to it bud(69.4 mm) and to tip of leaves (214.3 mm); as well as weight of fresh leaves (3.78 g) and dry weight (0.72 g). No significant differences were found in the comparison of means for fertilization levels. The interaction between application of auxins and fertilizer had effects on the variables of length of shoot sprouts from its base to its bud and to the tip of the leaf. Analysis of dry leaf weight / dry root weight was not statistically significant. The best results for the Dickson index occurred in hard cuttings (3.12).

Key words: vegetative propagation, *Acer negundo*, cuttings, plant quality indices.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

En los últimos años ha aumentado el interés por la propagación vegetativa de plantas y árboles, debido a la demanda que se hace cada vez en mayores cantidades y más corto tiempo. Es difícil que de manera natural las plantas logren producirse en gran número y en tiempos muy cortos. La producción por semilla en viveros ya se encarga de lograr las tasas de sobrevivencia más altas y que el desarrollo inicial de la planta suceda en el tiempo más corto posible, brindando las condiciones idóneas para su desarrollo. Aunque existen algunas especies con mayores dificultades para propagarse desde una semilla o individuos específicos por los que se tiene gran interés y se quisiera propagar sin alteraciones a su genética, y que son candidatos a propagarse vegetativamente.

La propagación asexual o vegetativa recurre a la utilización y cultivo de tejidos vegetales que conservan la potencialidad de multiplicación y diferenciación celular, para generar nuevos individuos similares a los árboles parentales (planta donante), a partir de partes vegetativas de las plantas (Vazquez-Yanes & Cervantes, 1993). Es decir que la producción de nuevas plantas no tendría que depender de la producción, calidad o cantidad de semillas o de los posibles problemas que se presenten al intentar germinarlas, y más dependería de la condición que tenga el individuo o especie que se quiera reproducir.

De acuerdo con Luna (2009), la propagación vegetativa es ventajosa cuando la germinación o cultivo por semillas es difícil o muy lenta, si se producen pocas semillas viables, se necesita aumentar la cantidad de planta en el vivero en un período corto de tiempo, se tiene interés en una planta individual o única y necesita ser propagada, hay una necesidad de acortar el tiempo en que una planta produzca flores, fructifique o produzca semillas o cuando se necesita un tipo de material uniforme o se desean genotipos específicos, lo que muchas veces sucederá con la demanda actual.

Las plantas que se utilizan en áreas urbanas, muchas veces requieren generar impacto visual donde se coloquen, es decir que tengan o alcancen de forma rápida un tamaño visualmente alto o que generen floración en pocos ciclos de crecimiento, lo que haría ideal la producción por reproducción vegetativa en el arbolado que se utilizará en sitios urbanos.

En este estudio se utilizó el *Acer negundo* L. que se conocido como Negundo, Acezintle, o Maple mexicano, se maneja de forma común como ornamental por su rápido crecimiento y amplia copa que provee sombra, además que su manejo es sencillo una vez que se ha aclimatado al sitio de plantación (Conafor & Conabio, 2010), características que pueden obtenerse con facilidad si la planta se propaga vegetativamente.

Además de producirse de forma rápida y en grandes cantidades, las plantas que se utilizarán en ambientes urbanos, comúnmente requieren de una especial resistencia a condiciones poco óptimas para el crecimiento y desarrollo. En general no se cuentan con planes de manejo para las áreas verdes urbanas, por lo que se les da poco mantenimiento y cuidados, lo que hace de vital importancia utilizar planta que cuente con la mejor calidad posible. Duryea (1985) define calidad de planta como aquella que reúne las características morfológicas y fisiológicas necesarias para sobrevivir y crecer, en las condiciones ambientales en las que será plantada, es decir, que tiene las características más adecuadas (morfológicas y fisiológicas) para el lugar donde tendrá que desarrollarse, y es por ello que para este trabajo cobra importancia evaluar la calidad de las plantas producidas por estaca.

Es bien sabido que para lograr plantas con mejores características morfológicas, además de las fisiológicas, es necesario el desarrollo de técnicas culturales desde el vivero. El tipo de sustrato, el contenedor a utilizar, la calidad de la semilla, el régimen de nutrición y el manejo adecuado del riego, son los elementos principales a considerar para obtener plantas de calidad a un precio razonable (Leyva Rodríguez *et al.*, 2008), así que experimentando sobre los tratamientos que se le da a una planta durante su cultivo podemos determinar

bajo cuáles de ellos se obtienen las cualidades más adecuadas para permitirle cumplir los objetivos para los que se utilizará.

Por tal motivo este estudio se propuso evaluar algunas características y tratamientos a los que se someten comúnmente las estacas que se producen en viveros, contribuyendo a una producción más eficiente, pues se conocerán tendencias de los tratamientos que mejor funcionen para la propagación de esta especie.

1.1 Objetivos

General:

Evaluar las características: tipo de estaca, aplicación de enraizador y nivel de fertilización, con relación al enraizamiento y calidad de planta de estacas de *Acer negundo*.

Específicos:

Medir el prendimiento radicular en estacas de *Acer negundo* bajo distintas condiciones de tipo de estaca, aplicación de enraizador y nivel de fertilización.

Medir atributos morfológicos de las estacas de *Acer negundo* bajo distintas condiciones de tipo de estaca, aplicaciones de enraizador y nivel de fertilización.

Calcular y proponer índices de calidad de planta procedente de estaca.

Establecer los tratamientos que producen la mejor calidad de planta.

1.2 Literatura citada

Comisión Nacional Forestal (Conafor) – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2010). *Acer negundo L.* recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/877Acer%20negundo.pdf>

Duryea, M. L. (1985). Evaluating seedling quality: importance to reforestation. In: Duryea, M. L. (Ed.). *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests.* (pp. 1-4) Oregon. USA.: Forest Research Laboratory, Oregon State University.

Leyva Rodríguez, F; R. Rosell Pardo; A. Ramírez Rubio; I. Romero Rosa. (2008). *Manejo de endurecimiento por riego para elevar la calidad de las plnatas de Eucalyptus sp cultivados en vivero de la unidad Silvicola Campechuela. Universidad de Granma, Cuba.* Recuperado de: http://www.newsmatic.epol.com.ar/index.php?pub_id=99&sid=635&aid=42947&eid=50&NombreSeccion=Ecolog%C3%83%C2%ADa&Accion=VerArticulo

Luna, T. (2009). Vegetative propagation. En R. K. Dumroese, T. Luna, T. D. Landis, (eds), *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries - Volume 1: Nursery management* (pp.152-175) Washington, D.C., USA.

Vázquez-Yanes, C. y V. Cervantes. (1993). Estrategias para domesticación y propagación de árboles nativos de México. *Ciencia y Desarrollo.* 19(113), 52-58

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Acer negundo

Cabrera-Rodríguez (1985) describe la especie como árboles hasta de 40 m de altura. Hojas opuestas, simples o compuestas, exestipuladas, cuando simples sin lóbulos o palmadamente lobuladas a profundamente disectadas, cuando compuestas 3-5 folioladas, la lámina con el margen entero, dentado, aserrado o lobulado; peciolo generalmente largos y delgados, glabros o pubescentes; yemas peruladas, imbricadas. Inflorescencias laterales fasciculadas o racemosas; flores tetrámeras a pentámeras, apétalas; gineceo sincárpico, generalmente 2-locular, glabro, pubescente o viloso. Los frutos son sámaras, comprimidas, los mericarpos aplanados u ovoides, las alas elongadas, divergentes, paralelas o conniventes. Género que habita en zonas templadas del hemisferio norte y en Asia tropical.

En México recibe los nombres comunes: negundo, acezintle o maple mexicano, se asocia con bosque caducifolio, bosque de pino encino, vegetación riparia y arbolado urbano. Se distribuye en altitudes de los 1,800 a 2,300 msnm y en todo tipo de suelos, excepto los alcalinos, tolerando los suelos secos y pobres, se encuentra en un amplio intervalo de temperaturas y de pH, y aunque requiere de un clima templado húmedo tolera el calor, el frío, y ambientes secos, es tolerante a temperaturas mínimas desde 0 °C a -15 °C y también es tolerante a sequías estacionales (Conafor & Conabio, 2010).

Su uso como especie ornamental urbana se ha reportado en diferentes estudios en los que hablan de sus cualidades como árbol urbano. En Argentina se reconoce que aporta al control de la intensidad de la isla de calor urbana, absorción de contaminantes, enfriamiento y humectación y reducción de las cargas térmicas de los edificios mediante un enmascaramiento de la radiación solar entre el 52.89% en invierno y el 85.96% en verano, (Tonello, Chiesa, Fernández & Perez, 2010; Arboit, 2013). En Estados Unidos se analizó la composición de parches forestales regenerados y remanentes dentro de un

paisaje urbano; en los primeros, *Acer negundo* junto con otras especies dominaron las clases de diámetro pequeño, y estos sitios de remanentes y regenerados, tuvieron la mayor tasa neta de secuestro de carbono con 848.7 ton / ha / año (Zipperer, 2002). En Francia se analizó la sobrevivencia de plántulas de *Acer* bajo la influencia de la copa de arboles del genero *Salix* durante la colonización, para luego beneficiarse de la presencia de arboles adultos de *Acer* contribuyendo al establecimiento de nuevas poblaciones. (Saccone, Pagès, Girel, Brun & Michalet, 2010). En la ciudad de Montevideo, Uruguay, se realizó un censo del arbolado urbano de la ciudad, donde se consideró al *Acer negundo* como una especie exitosa y predominante lo que indica que es una especie que se adaptan adecuadamente a las condiciones ambientales de la ciudad ya que han logrado desarrollarse y alcanzar grandes tamaños (Texeira, 2014).

En el caso específico de México, a el *Acer negundo* se le han reportado usos como: ornamental, para cortinas rompevientos y en algunos programas de reforestación (Conafor & Conabio, 2010). Se utilizó en el proyecto “Recuperación Monumental y Ambiental de la Alameda Central de la Ciudad de México” como parte de las jardineras con vegetación de tipo Bosque de Galería (Hinojosa *et al.*, 2012). En Monterrey se encuentra considerado como un árbol ornamental urbano, donde ya se contempla la obtención de información por especie para poder dar un manejo adecuado a cada una de ellas (Flores, 2005).

La especie *Acer negundo* se ha estudiado bajo distintas perspectivas, Goodfellow, Blumreich y Nowacki (1987), analizaron el numero de rebrotes en arboles esta especie, bajo poda artificial y poda natural, obteniendo el mayor número de rebrotes con el primer tratamiento. Se ha descrito la fisiología y distribución del *Acer negundo* en Estados Unidos (Dawson & Ehleringer, 1993), y se ha detallado la anatomía floral de la especie (Hall, 1951). Se realizó un estudio sobre los costos que tuvo la reproducción por semilla en Wisconsin durante los años 1983 y 1984 (Willson, 1986).

Se tienen registros de que las raíces de *Acer negundo* pueden generar rebrotes si reciben algún daño físico o estrés, lo que hace que áreas dañadas donde habita esta especie, logren regenerarse en muy poco tiempo (Van Dersal, 1938; Albertson & Weaver, 1945). Green (1934), menciona que la reproducción asexual por brote de *Acer negundo* es común en Estado Unidos, especialmente en el caso de árboles jóvenes vigorosos. En su libro sobre la propagación de plantas leñosas, Komissarov (1964) lista el *Acer negundo* y sugiere realizarla por estacas.

Fu, Du, Meng, Wang y Zhang, (2015) probaron el enraizamiento de estacas de *Acer negundo* en China con tres tipos de sustratos: arena, perlita y mezcla (perlita: turba = 1: 1) y cultivándolas bajo dos tipos de instalaciones: invernadero plastificado y estructura de malla sombra, el mejor prendimiento se obtuvo con perlita como sustrato, bajo la estructura de malla sombra.

2.2 Propagación vegetativa

Hartman y Kester (1991), mencionan que la propagación de plantas ha sido utilizada por la humanidad desde el inicio de la civilización. Ésta se originó hace unos 10 000 años, cuando los pueblos antiguos aprendieron a recolectar semillas y a cultivar ciertos tipos de plantas que llenaban sus necesidades alimenticias y las de sus animales. A medida que la civilización fue avanzando, la gente añadió a esa diversidad no solo plantas alimenticias, sino otras que proporcionaban fibras, medicinas, oportunidades recreativas y belleza.

De la gran diversidad que existe en el reino vegetal, ha sido posible seleccionar especies de plantas en particular útiles para el bienestar de los hombres. La forma más común de propagarlas, es mediante las semillas que producen las propias plantas. Además en algunos casos se tiene interés por un individuo específico, con características importantes que se desean perpetuar.

En estos casos lo más recomendable sería utilizar la propagación vegetativa, que de acuerdo con Gutiérrez, Ortiz y Molina (2005), se puede definir como la generación de nuevos individuos a partir de células, tejidos u órganos, sin que se manifieste el proceso de fecundación que implica la fusión de los gametos o células sexuales. Es posible porque en muchas plantas los órganos vegetativos tienen capacidad de regeneración, la cual se debe a dos características de la célula vegetal: la totipotencia y la dediferenciación. La totipotencia, es la propiedad que tiene la célula vegetal de contener la información genética necesaria para generar una nueva planta. La dediferenciación, es la capacidad que tienen las células maduras de volver a una condición meristemática y desarrollar un punto de crecimiento nuevo (Hartmann & Kester, 1991)

La ventaja característica de esta forma de propagación la constituye su capacidad para capturar y transferir a los nuevos individuos todo el potencial genético de la planta madre, permitiendo obtener copias genéticamente idénticas al individuo original. De esta forma, nos dicen Gutiérrez *et al.* (2005), se constituye en una poderosa herramienta al servicio de los programas de mejoramiento genético, debido a que posibilita transferir aquellas características que por su baja heredabilidad no se traspasan eficientemente a la descendencia por vía sexual. Por esta razón, resulta particularmente interesante su utilización para lograr ganancias genéticas en características con un alto componente de variación genética no aditiva, como normalmente lo son el crecimiento, peso seco, contenido de celulosa y otros caracteres de interés forestal.

Una de las principales técnicas de reproducción vegetativa, y que es la que se utilizó en este estudio, son las llamadas estacas, que Luna (2009) define como la porción de una planta que se recolecta, se trata y se planta especialmente para convertirse en una nueva planta completa con tallos, hojas y raíces.

Escobar, Zuluaga y Osorio (2002), definen la rizogénesis como el conjunto de fenómenos que conducen a la emisión radical; es decir, nacimiento de un sistema de raíces. También anotan que los factores que la influyen pueden ser:

a) el origen genético que da a algunos individuos una aptitud muy particular para la emisión de raíces; b) el estado fisiológico que puede ser modificado por factores como la edad del tejido, la luz, la nutrición, entre otros; c) la participación de algunas hormonas en la promoción de la producción de raíces.

No obstante no todas las plantas tienen la capacidad de enraizar espontáneamente, ni todas las ramas de una planta lo hacen con la misma facilidad. El proceso de enraizamiento de estacas de especies leñosas es complejo y depende de muchos factores que influyen la capacidad de enraizamiento.

En México la propagación vegetativa se realiza y se ha estudiado en gran cantidad de especies. En especies tropicales como *Gmelina arborea* Roxb., *Bursera* (*B. linanoe* (Llave) Rzed, Calderón & Medina, *B. glabrifolia* HBK (Engl.) y *B. copallifera* (Sessé & Moc. ex DC.) Bullock), *Chrysobalanus icaco* L. y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., se ha probado la reproducción vegetativa con el principal interés de obtener ejemplares en grandes cantidades, que puedan usarse en plantaciones comerciales (Ruiz García, Vargas Hernández, Cetina Alcalá & Villegas Monter, 2005; Castellanos-Castro & Bonfil Sanders, 2010; Vargas-Simón, Arellano-Ostoa, & Soto-Hernández, 1999; Navarrete-Luna, & Vargas-Hernández, 2005). En regiones templadas, también con el fin de utilizarse en plantaciones forestales, se ha analizado la propagación por estacas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Pinus patula* Schl. et Cham y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Cuevas-Cruz *et al.*, 2015; Aparicio-Rentería, Juárez-Cerrillo, & Sánchez-Velásquez, 2014; Flores, Castillo, Pineda, Guerra & Toledo, 2013).

Se busca también propagar vegetativamente, cuando existen características individuales que son de interés, por ejemplo la producción de frutos en higo (*Ficus carica* L.) y tejocote (*Crataegus* spp.) (Rodríguez, Villalobos, González, Ramírez & Salcedo, 2016; Borys, Espinoza, Nieto & Ortega, 1997), producción de hojas en orégano (*Lippia berlandieri* Schawer) (Blando Navarrete, Luengas Jiménez & Bautista Barrón, 2005) y producción de ramas en vara de perilla

(*Symphoricarpos microphyllus* HBK) (Quintero Sánchez, Rodríguez Trejo, Guízar Nolazco & Bonilla Beas, 2008).

En otras especies se prueba la propagación vegetativa como un método que permita aumentar rápidamente el número de individuos a poblaciones de especies vulnerables o de gran relevancia, ya sea por estar en alguna categoría de riesgo o por ser endémicas, como es el caso de pino Pérez de la Rosa (*Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa), mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd. M.C. Johnston), tejo mexicano (*Taxus globosa* Sch.) y cirimo (*Tilia mexicana* Schlecht.) (Aparicio-Rentería, Ramírez-García & Cruz-Jiménez, 2006; Buendía-González *et al.*, 2007; Muñoz-Gutiérrez, Vargas-Hernández, López-Upton & Soto-Hernández, 2009; Muñoz Flores *et al.*, 2011)

En especies utilizadas como ornamentales en ambientes urbanos, la propagación vegetativa puede ser una opción para obtener una fuente de material clonal adecuado (Ramos-Palacios, Orozco-Segovia, Sánchez-Coronado & Barradas, 2012). Esta posibilidad ya se ha explorado con abeto (*Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham.), junipero (*Juniperus horizontalis* Moench.), cipres (*Cupressus sempervirens* L.), cedro limón (*Cupressus macrocarpa* Hartw.), thuja (*Thuja orientalis* L.) y falso cipres (*Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parl.) en el centro del país. (Castillo-Flores, López-López, López-Upton, Cetina-Alcalá & Hernández-Tejeda, 2013; Sánchez, Hernández, Peralta & Mata, 1998).

2.3 Calidad de planta

De acuerdo con Ritchie, Landis, Dumroese y Haase (2010), la calidad de planta puede considerarse como los rasgos cuantificables de una planta producida en vivero que puedan ser usados como indicadores de su desempeño una vez establecida en campo, y consideran que puede ser dividida en tres grandes categorías:

Atributos morfológicos: Estos rasgos pueden ser observados rápidamente y medidos con facilidad, tales como la altura del tallo, el diámetro del cuello de la raíz, volumen de la raíz y peso seco de la raíz y el tallo. Estos rasgos no se modifican de manera considerable durante el tiempo transcurrido entre la salida del vivero y la plantación.

Algunos atributos morfológicos y su relación con el desarrollo de la planta son: la altura, correlacionada con superficie foliar, fotosíntesis y transpiración; el diámetro correlacionado con sección transversal del xilema conductor y con el volumen de raíces e indicativo de vigor; el tamaño del sistema radical, al influir en la captación de agua del suelo y en el potencial de regeneración de raíces (Gil & Pardos, 1997).

Atributos fisiológicos: Estos rasgos no pueden ser fácilmente observados y para ser medidos, se requiere de equipo y procedimientos de laboratorio. Contrariamente a las características morfológicas, los atributos fisiológicos cambian constantemente y algunas veces de manera dramática durante el proceso desde la cosecha hasta la plantación. Por lo tanto, cualquier medición de la calidad fisiológica es una condición instantánea relevante, por sólo un breve tiempo. Algunos atributos fisiológicos comunes incluyen la resistencia al frío y la dormancia de la yema (Ritchie *et al.*, 2010).

La resistencia al frío, está correlacionada con el estado de dormición y, por tanto, con la resistencia al manejo de la planta. El índice mitótico, se correlaciona con la dormición. Los días para la apertura de la yema, se encuentran ligado a los requerimientos de días frío para la activación del crecimiento en primavera. El estrés hídrico de la planta, se relaciona con el estado sanitario y la capacidad foto sintética (Gil & Pardos, 1997).

Atributos de desempeño: Estos rasgos pueden ser evaluados sólo si la planta es sometida a ciertas pruebas con protocolos predefinidos, y observando posteriormente cómo se comportan. Las pruebas de desempeño son de gran valía dado que permite evaluar e integrar a la vez un amplio espectro de rasgos

morfológicos y fisiológicos. Desafortunadamente, las pruebas de desempeño son muy laboriosas, consumen mucho tiempo y por tanto, son muy caras. No obstante y debido a su carácter intuitivo, las pruebas de desempeño han encontrado un amplio uso en la evaluación de la calidad de la planta. Una de las más antiguas y más comúnmente utilizadas en la actualidad es el Potencial de Crecimiento de la Raíz (PCR) (Ritchie *et al.*, 2010).

Con las mediciones de los atributos morfológicos, se calculan los llamados índices morfológicos, según Birchler, Royo, y Pardos (1998), entre los más utilizados están:

Relación parte aérea/parte radical: es el balance entre la parte transpirante y la parte absorbente, y se calcula habitualmente a partir de la relación de los pesos secos de cada una de las partes. Este parámetro puede ser de gran importancia cuando la plantación tiene lugar en estaciones difíciles, donde el factor más influyente sobre la supervivencia del primer año es una larga y cálida estación seca.

Cociente de esbeltez: es la relación entre la altura de la planta (en cm) y su diámetro (en mm), siendo un indicador de la densidad de cultivo. Es un parámetro importante en las plantas en contenedor, donde se pueden desarrollar plantas ahiladas.

Índice de calidad de Dickson: este índice integra a los dos anteriores y se calcula mediante la relación entre el peso seco total de la planta (g) y la suma de la esbeltez y la relación parte aérea/parte radical (Birchler *et al.*, 1998).

Índice de lignificación: que consiste en calcular el porcentaje de peso seco, con relación al contenido de agua en las plantas, lo cual se obtiene de dividir el peso seco entre el peso fresco, multiplicado por cien (Prieto, 2004).

En 1998 se inició en México un programa de evaluación real de las áreas reforestadas, Sistema Nacional de Evaluación de la Forestación y Reforestación, SINEFOR, y de acuerdo con Bello y Tovar (2000) se aplicó la

metodología estandarizada en áreas reforestadas que incluye todo tipo de plantaciones. Se encontró que solo el 51% de las plantaciones tuvieron una supervivencia de más del 60 %, con un promedio de 44% a nivel nacional. El índice de la calidad de reforestación, combinando buena calidad (determinado por 12 indicadores como salud, especies aptas al sitio, manejo, etc.) con un mínimo de supervivencia de 60%, alcanzó 41 % para todo el país. La principal causa de la muerte fue la sequía (30%), seguido por la mala calidad de la planta (22%), causas que son interrelacionadas.

Con base a lo anterior, se observa que la reforestación es entonces una actividad forestal que requiere mucha atención en el aspecto de mejoramiento de la calidad y manejo de las plántulas en vivero. De ello depende enormemente la supervivencia de los individuos plantados. Incrementando así, la posibilidad de éxito en los programas de reforestación (Wightman & Cruz, 2003).

La calidad de la planta influye en gran medida en la disponibilidad de los productores para plantar nuevos árboles. Se considera que solamente vale la pena preparar el terreno, transportar los árboles al campo, sembrarlos y darles mantenimiento si son de buena calidad. Una forma de reforzar el hecho de que sembrar árboles tiene sentido, es vendiendo la idea de que brindan beneficios, desde el momento en que se observa un buen desarrollo. Por el contrario, si se reciben plantas de mala calidad, y no se desarrollan, después de hacerse todo el trabajo necesario para su siembra y cuidado, la gente pierde el ánimo de volver a plantar. Un ciclo virtuoso o vicioso de la reforestación depende en gran medida de la calidad de la planta (Wightman & Cruz, 2003). Es por ello que en los últimos años ha incrementado el interés por estudiar la calidad de planta que se produce en los viveros de México y su relación con el desempeño en campo de las plantas. De esta forma se podrá garantizar en mayor medida que el trabajo realizado en vivero es el ideal para que las plantas cumplan con los objetivos para los que fueron establecidas.

2.4 Trabajos anteriores referentes al tema

Se tienen algunas referencias de que el género *Acer* ha sido estudiado en cuanto a propagación vegetativa desde hace mucho tiempo, por ejemplo el estudio titulado “Rooting cofactors in five *Acer* species”, escrito por Kling, Meyer y Seigler (1988).

Bachelard y Stowe (1963) establecieron un experimento en la Universidad de Yale; probaron el enraizamiento de estacas de *Acer rubrum* tomadas de plántulas cultivadas bajo condiciones controladas con tratamientos de auxinas, con ácido indolilbutírico a una concentración de 1.0 mg / l como tratamiento óptimo. El enraizamiento de los esquejes se vio afectado por las condiciones de luz en que se cultivaron las plántulas y se correlacionó positivamente el enraizamiento con la cantidad de antocianina encontrada en las hojas.

En la Universidad de Cornell, Nueva York, hacia 1987 se estudiaron los efectos de la etiolación de las plantas, la aplicación de auxina y el uso de catecol en la respuesta al enraizamiento de las estacas de madera blanda de *Acer griseum* Pax. Las estacas etioladas arraigaron mejor (41%) que las estacas de crecimiento normal (10%); el ácido indolilbutírico (IBA) no promovió, pero el catecol inhibió el enraizamiento y el número de raíces fue aumentado por IBA y no afectado por catecol (Maynard & Bassuk, 1990).

Más recientemente, entre el año 2014 y 2015, en la ciudad de Curitiba, Brasil, se estudió el sistema de mini estacas para el *Acer palmatum*, donde se estudiaron época de recolección (estaciones), efecto de sombreado de las mini estacas y efecto de longitud de mini estacas. Los porcentajes más altos de productividad, el enraizamiento y vigor de las raíces de mini-estacas se obtuvieron en verano, en plena luz del sol y con un tamaño de 8 ± 1 cm (Stuepp *et al.*, 2016).

En cuanto al *Acer negundo*, existen dos tesis de licenciatura donde se experimenta con su propagación vegetativa, una durante los años 1975 y 1976, en la Universidad Autónoma Chapingo. En ese estudio se utilizaron estacas con

2, 3 y 4 yemas, durante las épocas de siembra: 17 de diciembre, 6 y 26 de enero, 15 de febrero y 6 de marzo y usando como sustrato arena de río, tierra de monte y mezcla de sustrato de vivero y arena. No hubo efecto significativo en los diferentes sustratos y se logró un prendimiento de hasta 10% en estacas con 4 yemas plantadas en diciembre y febrero, aunque el prendimiento promedio fue del 5% (Hernández, 1977). La otra tesis se desarrolló durante el año 2006 en la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, cuando se obtuvo prendimiento de hasta el 70% con la aplicación del extracto de sauce y jugo (agua) de coco (Condori, 2006).

Durante el Congreso Forestal Español de 1993, se presentaron dos trabajos que tratan el tema de calidad de planta sobre plantas producidas mediante propagación vegetativa, Rodríguez y Vega (1993) estudiaron la propagación por estaquillas de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster*, y además de calificar el porcentaje de enraizamiento analizan la arquitectura de la parte aérea y subterránea de las estacas enraizadas y las relaciona con su sobrevivencia en campo. Fontañña y López (1993) describen la técnica de micropropagación aplicada a la multiplicación clonal de híbridos de *Castanea crenata* y *C. sativa* y se compara la calidad de la planta procedente de micropropagación con la obtenida por acodo calificando la arquitectura de la parte aérea y subterránea y los pesos secos de parte aérea y subterránea.

Medina, García, González, Cova y Moratinos (2009) llevaron a cabo un experimento en Venezuela con el propósito de evaluar el efecto de la longitud, el diámetro y el número de yemas en estacas de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. sobre algunos indicadores morfo-estructurales y de calidad durante la etapa inicial de crecimiento. Las variables medidas en vivero fueron altura diferencial de la planta, número de brotes, número de ramas, longitud de la rama, diámetro de la rama, hojas por rama, sobrevivencia, prendimiento, tasa de crecimiento e incidencia de plagas y enfermedades.

2.5 Literatura citada

Albertson, F. W. & Weaver, J. E. (1945). Injury and death or recovery of trees in prairie climate. *Ecological Monographs*, 15(), 393-433.

Aparicio-Rentería, A., Juárez-Cerrillo, S. F., & Sánchez-Velásquez, L. R. (2014). Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México. *Madera y bosques*, 20(1), 85-96.

Aparicio-Rentería, A., Ramírez -arcía, E. O., & Cruz-Jiménez, H. (2006). Multiplicación clonal de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa a través del establecimiento y manejo de setos para la producción de estacas. *Foresta Veracruzana*, 8(1):17-22.

Arboit, M. (2013). Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar: Estudio de dos especies representativas en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable*, 3(2), 3-18.

Bachelard, E. P., & Stowe, B. B. (1963). Rooting of Cuttings of *Acer Rubrum* L. And *Eucalyptus Camaldulensis* Dehn. *Australian Journal of Biological Sciences*, 16(4), 751-767.

Bello L. y Tovar J. (2000) *Evaluación Técnica de la Reforestación 1998. Memoria del Primer Congreso Nacional de Reforestación 2000*. México:

Birchler, T. A., Royo, A., & Pardos, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Forest Systems*, 7(1), 109-121.

Blando Navarrete, J. L., Luengas Jiménez, B. C., & Bautista Barrón, B. E. (2005). Enraizamiento estacional de varetas de orégano (*Lippia berlandieri* Schawer). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(2), 25-30.

Borys, M.W., Espinoza, M. A., Nieto, A. & Ortega, A. J. R. (1997). Propagación clonal del tejocote (*Crataegus* spp.) por estacas de raíz. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 3(2), 63-70.

Buendía-González, L., Orozco-Villafuerte, J., Cruz-Sosa, F., Chávez-Ávila, V. M., Vernon-Carter, E. J., & Newton, R. J. (2007). Clonal propagation of mesquite tree (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd. MC Johnston). I. Via cotyledonary nodes. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 43(3), 260-266.

Cabrera, R. L., (1985). *Aceraceae*. Xalapa, Ver: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.

Castellanos-Castro, C., & Bonfil-Sanders, C. (2010). Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera Jacq. ex L.* *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(2), 93-108.

Castillo-Flores, J. D., López-López, M. A., López-Upton, J., Cetina-Alcalá, V. M., & Hernández-Tejeda, T. (2013). Factores de influencia en el enraizamiento de

estacas de *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. et Cham. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(1), 175-184.

Comisión Nacional Forestal (Conafor) – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2010). *Acer negundo* L. recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/877Acer%20negundo.pdf>

Condori, M. E. D. (2006). Efecto de enraizadores naturales en la propagación asexual de Arce Negundo (*Acer negundo*), en vivero (Tesis de licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

Cuevas-Cruz, J. C., Jiménez-Casas, M., Jasso-Mata, J., Pérez-Rodríguez, P., López-Uptón, J., & Villegas-Monter, Á. (2015). Propagación asexual de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltld. et Cham. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 21(1), 81-95.

Dawson, T., & Ehleringer, J. (1993). Gender-Specific Physiology, Carbon Isotope Discrimination, and Habitat Distribution in Boxelder, *Acer Negundo*. *Ecology*, 74(3), 798-815.

Escobar, A. C. J., Zuluaga, P. J. J., y Osorio, M. V. E. (2002). *Manual técnicas de propagación de especies vegetales leñosas promisorias para el Piedemonte de Caquetá*. Caquetá, Colombia: Gráficas Florencia.

Flores, G. A., Castillo, M. C. R., Pineda, O. T., Guerra, de la C. V. & Toledo, G. K. I. (2013). Macropropagación asexual de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco a través del enraizamiento de estacas. Folleto Técnico Núm. 8. CENID-COMEF, INIFAP. México, D.F., México. 36 p.

Flores, G. J. A. (2005). El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*, 8(1), 20-32.

Fontañón, M. M., & López, J. F. (1993). Micropropagación, cultivo en vivero y calidad de planta de clones híbridos de *Castanea sativa* y *Castanea crenata*. En Sociedad Española de Ciencias Forestales (Ed.), *Congreso Forestal Español, Lourizán 1993, Ponencias y comunicaciones Tomo II*. (pp. 289-293). Pontevedra, España:

Fu Z., Du J., Meng Y., Wang L. & Zhang H. (2015). Effect of different substrates and cutting facilities on tender branch cutting propagation of *Acer negundo* "Auratum". *Revista China de Ciencias Agrícolas*, 31 (31), 25-29

Gil, L., y Pardos, J. A. (1997). Aspectos funcionales del arraigo. La calidad fisiológica de la planta forestal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (4).

Goodfellow, J. W., Blumreich, B. & Nowacki, G. (1987). Tree growth response to line clearance pruning. *Journal of Arboriculture*, 13 (8) 196-200.

Green, G. R. (1934). *Trees of North America, Vol. II-The Broadleaves*. Michigan, Estados Unidos: Edwards Bros.

Gutiérrez, B., Ortiz, O., y Molina, M. D. L. P. (Eds.) (2005). *Clonación del rauli: estado actual y perspectivas*. Chile:

Hall, B. (1951). The Floral Anatomy of the Genus *Acer*. *American Journal of Botany*, 38(10), 793-799.

Hartmann, H. T., & Kester, D. E. (1991). *Propagación de plantas: Principios y prácticas*. D.F, México: Continental.

Hernández D., J. C. (1977). *Estudio de algunos factores que afectan el prendimiento de estacas de Populus alba L., P. balsamífera DuRoi, P. x canadensis Moench. y Acer negundo L.* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo.

Hinojosa E., Kuri M., Juárez B., Ortiz A., Páez H., Reyes D., Silva E., Uriarte A. (2012) *Recuperación monumental y ambiental de la Alameda Central de la Ciudad de México*. Memorias del 8vo. Seminario de Urbanismo Internacional, Universidad Autónoma Metropolitana.

Kling, G.J., Meyer, M.M. Jr., Seigler, D. (1988) Rooting cofactors in five *Acer* species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 113 (2), 252-257.

Komissarov, D. A. (1964). *Biologicheskie osnovy razmnozheniya drevesnykh rastenii cherenkami [Biological basis for the propagation of woody plants by cuttings]*. Moscú, Rusia: Lesnaya Promyshlennost.

Luna, T. (2009). Vegetative propagation. En R. K. Dumroese, T. Luna, T. D. Landis, (eds), *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries - Volume 1: Nursery management* (pp.152-175) Washington, D.C., USA.

Maynard, B. K., & Bassuk, N. L. (1990). Rooting softwood cuttings of *Acer griseum*: promotion by stockplant etiolation, inhibition by catechol. *HortScience*, 25(2), 200-202.

Medina, M. G., García, D. E., González, M. E., Cova, L. J., y Moratinos, P. (2009). Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 121-134.

Muñoz Flores, H. J., Orozco Gutiérrez, G., García Magaña, J., Coria Avalos, V. M., Salgado Garciglia, R., Santiago, S., & del Rocío, M. (2011). Épocas de colecta y tratamientos para enraizamiento de estacas de cirimo *Tilia mexicana* Schlecht. (Tiliaceae). *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(3), 13-24.

Muñoz-Gutiérrez, L., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., & Soto-Hernández, M. (2009). Effect of cutting age and substrate temperature on rooting of *Taxus globosa*. *New forests*, 38(2), 187-196.

Navarrete-Luna, M., & Vargas-Hernández, J. (2005). Propagación asexual de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. utilizando Radix en diferentes concentraciones. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(2).

- Prieto R., J. A. (2004). *Factores que influyen en la producción de planta de Pinus sp., en vivero y en su establecimiento en campo*. (Tesis de doctorado). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Quintero Sánchez, A. I., Rodríguez Trejo, D. A., Guízar Nolzco, E., & Bonilla Beas, R. (2008). Propagación vegetativa de la vara de perlilla (*Symphoricarpos microphyllus* HBK). *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 14(1), 21-26.
- Ramos-Palacios, R., Orozco-Segovia, A., Sánchez-Coronado, M. E., & Barradas, V. L. (2012). Vegetative propagation of native species potentially useful in the restoration of Mexico City's vegetation. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(), 809-816.
- Ritchie, A. G. Landis, T. D. Dumroese, R. K. y Haase D. L. (2010) "Assessing Plant Quality" En Landis, T.D.; Dumroese, R.K.; Haase, D.L. (Eds.) (2010). The Container Tree Nursery Manual. Volume 7, Seedling Processing, Storage, and Outplanting Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service.
- Rodríguez, A., y Vega, G. (1993). Técnica para la reproducción masiva mediante estaquillas juveniles de coníferas: *Pinus pinaster* y *Pinus radiata*. En Sociedad Española de Ciencias Forestales (Ed.), *Congreso Forestal Español, Lourizán 1993, Ponencias y comunicaciones Tomo II*. (pp. 289-293). Pontevedra, España:
- Rodríguez, H. M., Villalobos, J. A. M., González, M. R., Ramírez, G. D., & Salcedo, R. J. (2016). Determinación de las mejores épocas para la propagación de higuera a través de acodo aéreo en la región lagunera. *AGROFAZ*, 16(2), 51-62.
- Ruiz García, R; Vargas Hernández, J J; Cetina Alcalá, V M; Villegas Monter, Á; (2005). Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(), 319-326.
- Saccone, P., Pagès, J.-P., Girel, J., Brun, J.-J., & Michalet, R. (2010). Acer negundo invasion along a successional gradient: early direct facilitation by native pioneers and late indirect facilitation by conspecifics. *New Phytologist*, 187 (3) 831-842.
- Sánchez, J. J. M., Hernández, J. J. V., Peralta, M. C. L., & Mata, J. J. (1998). Enraizado de estacas juveniles en cinco especies de coníferas ornamentales: efecto del ácido indolbutírico AIB y de la temperatura. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 23(84), 29-38.
- Stuepp, C. A., Fragoso, R. O., Maggioni, R. A., Latoch, L. P., Wendling, I., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2016). ex vitro system for *Acer palmatum* plants propagation by mini-cuttings technique. *CERNE*, 22(3), 355-364.
- Texeira, E. T. (2014). Evaluación de la estructura y comportamiento del arbolado urbano en Montevideo. (Tesis de pregrado). Universidad de la República, Uruguay.

Tonello, M. L., Chiesa, A., Fernández, C., Perez, F. (2010). Descripción de especies vegetales para arbolado público urbano. Recuperado de: <http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/Bosques%20y%20Forestacion/arbado-urbano.php>

Van Dersal, William R. (1938). *Native woody plants of the United States, their erosion-control and wildlife values*. Washington, Estados Unidos: U.S. Department of Agriculture.

Vargas-Simón, G., Arellano-Ostoa, G., & Soto-Hernández, R. (1999). Enraizamiento de estacas de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.) sometidas a aplicaciones de auxinas. *Bioagro*, 11(3), 103-108.

Wightman, K. E., y Cruz, B. S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana*, 5(1).

Willson, M. (1986). On the Costs of Reproduction in Plants: *Acer negundo*. *The American Midland Naturalist*, 115(1), 204-207.

Zipperer, W. C. (2002). Species composition and structure of regenerated and remnant forest patches within an urban landscape. *Urban Ecosystems*, 6(4) 271-290.

3 ARTÍCULO “PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE *Acer negundo* POR MEDIO DE ESTACAS”

3.1 Introducción

La especie que se utilizó en este estudio, el *Acer negundo* L., se conoce comúnmente como Negundo, Acezintle, o Maple mexicano, y de acuerdo con Conafor (2010), se asocia con bosque caducifolio, bosque de pino encino, vegetación riparia y arbolado urbano. Llega a medir hasta 20 m en México, se distribuye en altitudes de los 1,800 a 2,300 msnm y en todo tipo de suelos, excepto los alcalinos, tolerando los suelos secos y pobres. Se encuentra en un amplio intervalo de pH del suelo y temperaturas. Requiere de un clima templado húmedo tolera el calor, el frío, y ambientes secos, es tolerante a temperaturas mínimas desde 0°C a -15°C y también es tolerante a sequías estacionales; Se maneja de forma común como ornamental por su rápido crecimiento y amplia copa que provee sombra, además que su manejo es sencillo una vez que se ha aclimatado al sitio de plantación (Conafor, 2010).

Se tienen registros de que las raíces de *Acer negundo* pueden generar rebrotes si reciben algún daño físico o estrés, lo que hace que áreas dañadas donde habita esta especie, logren regenerarse en muy poco tiempo (Van Dersal, 1938; Albertson & Weaver, 1945). Green (1934), menciona que la reproducción asexual por brote de *Acer negundo* es común en Estado Unidos, especialmente en el caso de árboles jóvenes vigorosos. En su libro sobre la propagación de plantas leñosas, Komissarov (1964) lista el *Acer negundo* y sugiere realizarla por estacas.

Fu, Du, Meng, Wang y Zhang, (2015) probaron el enraizamiento de estacas de *Acer negundo* en China con tres tipos de sustratos: arena, perlita y mezcla (perlita: turba = 1: 1) y cultivándolas bajo dos tipos de instalaciones: invernadero plastificado y estructura de malla sombra; el mejor prendimiento se obtuvo con perlita como sustrato, bajo la estructura de malla sombra.

La forma más común de propagación de plantas es mediante las semillas, existen casos en los que este método es especialmente complicado. Además, en algunos casos se tiene interés por un individuo específico, con características importantes que se desean perpetuar.

La propagación asexual o vegetativa recurre a la utilización y cultivo de tejidos vegetales que conservan la potencialidad de multiplicación y diferenciación celular, para generar nuevos individuos similares a los árboles parentales (planta donante), a partir de partes vegetativas de las plantas (Vazquez-Yanes & Cervantes, 1993)

No obstante no todas las plantas tienen la capacidad de enraizar espontáneamente, ni todas las ramas de una planta lo hacen con la misma facilidad.

En México la propagación vegetativa se realiza y se ha estudiado en gran cantidad de especies. En especies tropicales como *Gmelina arborea* Roxb., *Bursera* (*B. linanoe* (Llave) Rzed, Calderón & Medina, *B. glabrifolia* HBK (Engl.) y *B. copallifera* (Sessé & Moc. ex DC.) Bullock), *Chrysobalanus icaco* L. y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., se ha probado la reproducción vegetativa con el principal interés de obtener ejemplares en grandes cantidades, que puedan usarse en plantaciones comerciales (Ruiz García, Vargas Hernández, Cetina Alcalá & Villegas Monter, 2005; Castellanos-Castro & Bonfil Sanders, 2010; Vargas-Simón, Arellano-Ostoa, & Soto-Hernández, 1999; Navarrete-Luna, & Vargas-Hernández, 2005). En regiones templadas, también con el fin de utilizarse en plantaciones forestales, se ha analizado la propagación por estacas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Pinus patula* Schl. et Cham y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Cuevas-Cruz *et al.*, 2015; Aparicio-Rentería, Juárez-Cerrillo, & Sánchez-Velásquez, 2014; Flores, Castillo, Pineda, Guerra & Toledo, 2013).

Se busca también propagar vegetativamente, cuando existen características individuales que son de interés, por ejemplo la producción de frutos en higo

(*Ficus carica* L.) y tejocote (*Crataegus* spp.) (Rodríguez, Villalobos, González, Ramírez & Salcedo, 2016; Borys, Espinoza, Nieto & Ortega, 1997), producción de hojas en orégano (*Lippia berlandieri* Schawer) (Blando Navarrete, Luengas Jiménez & Bautista Barrón, 2005) y producción de ramas en vara de perilla (*Symphoricarpos microphyllus* HBK) (Quintero Sánchez, Rodríguez Trejo, Guízar Nolasco & Bonilla Beas, 2008).

En otras especies se prueba la propagación vegetativa como un método que permita aumentar rápidamente el número de individuos a poblaciones de especies vulnerables o de gran relevancia, ya sea por estar en alguna categoría de riesgo o por ser endémicas, como es el caso de pino Pérez de la Rosa (*Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa), mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd. M.C. Johnston), tejo mexicano (*Taxus globosa* Sch.) y cirimo (*Tilia mexicana* Schlecht.) (Aparicio-Rentería, Ramírez-García & Cruz-Jiménez, 2006; Buendía-González *et al.*, 2007; Muñoz-Gutiérrez, Vargas-Hernández, López-Upton & Soto-Hernández, 2009; Muñoz Flores *et al.*, 2011)

En especies utilizadas como ornamentales en ambientes urbanos, la propagación vegetativa puede ser una opción para obtener una fuente de material clonal adecuado (Ramos-Palacios, Orozco-Segovia, Sánchez-Coronado & Barradas, 2012). Esta posibilidad ya se ha explorado con abeto (*Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham.), junipero (*Juniperus horizontalis* Moench.), cipres (*Cupressus sempervirens* L.), cedro limón (*Cupressus macrocarpa* Hartw.), thuja (*Thuja orientalis* L.) y falso cipres (*Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parl.) en el centro del país. (Castillo-Flores, López-López, López-Upton, Cetina-Alcalá & Hernández-Tejeda, 2013; Sánchez, Hernández, Peralta & Mata, 1998).

La calidad de la planta influye en gran medida en la disponibilidad de los productores para plantar nuevos árboles. Se puede considerar que solamente vale la pena preparar el terreno, transportar los árboles al campo, sembrarlos y darles mantenimiento si son de buena calidad (Wightman & Cruz, 2003). De acuerdo con Ritchie, Landis, Dumroese y Haase (2010), la calidad de planta

puede considerarse como los rasgos cuantificables de una planta producida en vivero que puedan ser usados como indicadores de su desempeño una vez establecida en campo, es decir, que alcanzando ciertos estándares en esos rasgos es más probable que aumente la sobrevivencia y crecimiento de las plantas. Por otra parte, los indicadores de calidad de planta producida por estacas han recibido mínima atención por parte de los investigadores.

Bajo este panorama, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de tipo de estaca, aplicación de enraizador y nivel de fertilización, en el enraizamiento y calidad en planta de estacas de *Acer negundo*.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Recolección de estacas

La recolecta del material vegetal se realizó en día 16 de diciembre del año 2016, en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, cortando ramas de árboles adultos de la especie *Acer negundo* visualmente sanos, es decir, sin presencia de plagas o síntomas visibles de enfermedades o deficiencias. Las estacas fueron tomadas de la parte media y baja de la copa, de acuerdo a la accesibilidad. De las ramas cortadas se seleccionaron y cortaron, con tijeras para poda, las estacas con un largo promedio de 15 cm. Se hizo un corte totalmente horizontal en la base y un corte diagonal en la parte apical de la estaca. Se utilizó únicamente el material de los primeros 3 nudos contando desde la punta hacia la base de cada rama. El material recolectado se colocó en recipientes plásticos y se mantuvo húmedo y sombreado hasta el momento de colocarlo en el sustrato.

3.2.2 Establecimiento del experimento

Se definieron los diferentes tratamientos que se utilizarían, considerando: el tipo de estaca, aplicación de enraizador y nivel de fertilización. El tipo de estaca se dividió en dos niveles, el primero llamado “estaca blanda”, que corresponde al

material colectado de la parte apical de las ramas, con diámetros promedio de entre 4.5 y 8.5 mm, con una consistencia ligeramente flexible y coloración ligeramente más clara; el segundo nivel de este factor fueron las “estacas duras”, que correspondieron a estacas de la parte basal de la rama, con diámetros entre 9 y 16 mm, con consistencia nada flexible, coloración verde oscuro a café. Los niveles de enraizador fueron: con y sin aplicación de enraizador a la estaca. Para la fertilización se consideró una dosis alta (150-60-120) y una dosis baja (100-50-80), durante la etapa de crecimiento rápido.

3.2.3 Etapa de cultivo

El periodo de cultivo del experimento se llevó a cabo en Tepetlaoxtoc, Estado de México, se utilizó charola forestal negra de poliestireno con 54 cavidades con un volumen de 200 ml por cavidad. El sustrato fue una mezcla de *Peat moss*, agrolita y vermiculita de textura media, en proporción 40, 20 y 40 %, respectivamente. Se le agregó fertilizante de liberación controlada marca Osmocote® en una dosis de 1 kg por cada metro cúbico de sustrato. Se llenaron las charolas con el sustrato preparado y regado con agua corriente.

Se colocaron un total de 480 estacas en las charolas preparadas con el sustrato, poniendo una estaca por cavidad, con un total de 60 estacas para cada una de las 8 combinaciones. Al momento de plantar cada estaca se asignó al azar si tendría o no aplicación de enraizador, las estacas que lo requerían se humedecieron de la base y se impregnaron con el producto Radix 10000® y se retiró el excedente antes de colocarlas en el sustrato. Para sellar la el corte expuesto de las estacas se utilizó pintura acrílica color blanco con fungicida Captán® en una dosis de 1 g/l de pintura.

Al finalizar la plantación de la estacas se colocaron las charolas dentro de un túnel con cubierta de polietileno blanco para invernadero, de 1.5 m de ancho por 3 m de largo y 1.5 m de alto, con ambos extremos cubiertos con malla sombra, y se aplicó un primer riego donde se agregó 1 g/l de Captán,

posteriormente se continuó regando una vez por semana con esta misma dosis de fungicida.

Para dar seguimiento al desarrollo de raíces se estableció una charola con las mismas condiciones que las demás, que se destinó para la observación y análisis del material vegetal, de donde cada semana se extrajo una estaca y se observaron los avances en el enraizamiento.

Después de 8 semanas del establecimiento del experimento, al notar la presencia de raíces en algunas estacas, dependiendo del nivel de fertilización asignado, se comenzó a regar con fertilizante soluble marca *Peters Professional* de uso general, conveniente para la etapa de vivero de crecimiento (20 – 20 – 20), usando las dosis antes mencionadas y regando para mantener el sustrato húmedo.

Luego de cuatro meses, se extrajo una muestra de 40 estacas a las que se les midió: diámetro del brote, largo del brote hasta la yema, largo del brote hasta la punta de la hoja, largo de raíz, altura de brotación de raíz (promedio) desde la base, peso fresco de: hojas, raíz, parte aérea y parte subterránea, y peso seco de: hojas, raíz, parte aérea y parte subterránea. Para estas mediciones se utilizó una regla plástica graduada en centímetros, un vernier digital marca Truper y una báscula digital marca OHAUS Scout® Pro. Las hojas, raíces, parte aérea y parte subterránea de las estacas se secaron dentro de bolsas de papel, en un horno de secado a 80 °C hasta que su peso fue constante.

Además se calculó la relación parte aérea/parte radical que se obtiene a partir de la relación de los pesos secos de cada una de las partes, y el Índice de calidad de Dickson, el cual se calcula mediante la relación entre el peso seco total de la planta (g) y la suma de la esbeltez (relación entre la altura de la planta, en cm y su diámetro, en mm) con la relación parte aérea/parte radical (Birchler, Royo, & Pardos, 1998).

3.2.4 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar y se trató de un experimento factorial 2x3.

Para el análisis del prendimiento se transformó el porcentaje de estacas enraizadas por cada factor (tipo de estacas, aplicación de enraizador y nivel de fertilización) con la función arco seno de la raíz cuadrada de dicho porcentaje expresado en tanto por uno. Con el prendimiento transformado se usó el procedimiento PROC ANOVA de SAS (Statistical Analysis System), V. 9.4; y se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias.

Para el análisis del resto de las variables evaluadas se usó el modelo estadístico:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + E_{ijk}$$

donde: μ : media general

α_i : efecto del i-ésimo nivel del factor estaca

β_j : efecto del j-ésimo nivel del factor enraizador

γ_k : efecto del k-ésimo nivel del factor fertilización

$(\alpha\beta)_{ij}$: efecto de la interacción de los factores estaca y enraizador

$(\alpha\gamma)_{ik}$: efecto de la interacción de los factores estaca y fertilización

$(\beta\gamma)_{jk}$: efecto de la interacción de los factores enraizador y fertilización

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: efecto de la interacción de los factores estaca, enraizador y fertilización

E_{ijk} : error experimental

3.3 Resultados y discusión

Del total de 480 estacas establecidas en el experimento, 72 presentaron brotes con hojas y 78 generaron raíces.

Del análisis estadístico del enraizamiento, considerando cada factor por separado, se obtuvo significancia estadística únicamente para la aplicación de enraizador ($Pr < 0.05$) (Cuadro 1), y la comparación de medias indicó el mejor

resultado para las estacas con enraizador (20.48% de enraizamiento) contra las estacas sin enraizador (12.08% de enraizamiento) (Cuadro 1).

La aplicación de enraizador tiene efectos en la respuesta del crecimiento de raíces, pues funciona mediante la aplicación de auxinas sintéticas que estimulan las divisiones celulares del primordio radical, posiblemente porque favorecen la reacción de conjugación que permite la síntesis de proteínas específicas e incrementan el desarrollo del callo (Wilson, 1994), además promueve la movilización de carbohidratos hacia la base de las estacas, y entonces estimula el desarrollo de numerosas raíces (Mesén, 1998).

Palanisamy y Subramanian (2001) reportan efectos significativos de la aplicación de ácido indolbutírico (1000 ppm) en estacas de *Tectona grandis*, con porcentajes de enraizamiento del 74 al 100%. El ácido indolbutírico (AIB) según mencionan Aparicio *et al.* (2006), es recomendado para especies de difícil enraizamiento. En el estudio realizado con esta hormona en árboles de cinco poblaciones de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa, reportan efectos de la aplicación de AIB, con porcentaje de enraizamiento superiores al 90%.

Cuadro 1. Análisis estadístico del enraizamiento de estacas

Análisis de varianza					
	Tipo de estaca		Aplicación de enraizador	Nivel de fertilización	
Valores de Pr>F	0.5262		0.0071	0.4950	
Prueba Tukey					
Estaca	Enraizador		Fertilización		
Dura	17.5a*	Con enraizador	20.48a	Alta	17.5a
Blanda	15a	Sin enraizador	12.08b	Baja	15a

* Media con letra diferente en una misma fila indica diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P = 0.05$.

En México la propagación asexual del género ha sido poco estudiada y con bajos porcentajes de prendimiento. Tal es el caso del estudio realizado por Hernández (1977), quien utilizó estacas con 2, 3 y 4 yemas, durante 5 épocas de siembra entre diciembre y marzo y tres tipos de sustratos: no se encontró efecto significativo en los diferentes sustratos y se logró un prendimiento de

hasta 10% en estacas con 4 yemas plantadas en diciembre y febrero, aunque el prendimiento promedio fue del 5%.

El análisis estadístico realizado a las variables medidas en laboratorio, muestra que existieron efectos significativos de las fuentes de variación y/o sus interacciones sobre las variables: largo del brote hasta la yema y largo de brote hasta la punta de la hoja ($P=0.0232$ y $P=0.0290$, respectivamente) (Cuadro 1). Ambas variables fueron principalmente influidas por el tipo de estaca ($P=0.0104$ y $P=0.0227$, respectivamente), aplicación de enraizador ($P=0.0338$ y $P=0.0212$ respectivamente) y la interacción de la aplicación de enraizador y la fertilización ($P=0.0179$ y $P=0.0386$ respectivamente) (Cuadro 2). En el resto de las variables medidas, no fueron estadísticamente significativas ($P \geq 0.05$) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados del análisis estadístico para variables evaluadas en laboratorio

Fuente / Variable	Diámetro de brote	Largo del brote hasta la yema	Largo de brote hasta la punta de la hoja	Largo de raíz	Altura de brote de raíz	Peso fresco hojas	Peso fresco raíz	Peso seco hojas	Peso seco raíz
Valor de P>F									
Modelo	0.0569	0.0232*	0.0290*	0.1231	0.8698	0.1259	0.2079	0.1114	0.5607
Estaca	0.0142	0.0104	0.0227	0.3849	0.5561	0.3791	0.5377	0.1285	0.3000
Enraizador	0.8559	0.0338	0.0212	0.4155	0.8081	0.0371	0.1527	0.0276	0.1246
Fertilización	0.4106	0.5405	0.3851	0.4200	0.8486	0.5714	0.4488	0.9724	0.7092
Estaca* Enraizador	0.2596	0.6978	0.8062	0.0947	0.6900	0.4481	0.7543	0.7110	0.5011
Estaca* Fertilización	0.0967	0.9266	0.2677	0.0538	0.7028	0.5091	0.2599	0.7933	0.8302
Enraizador* Fertilización	0.0989	0.0179	0.0386	0.2010	0.2861	0.0578	0.4348	0.0477	0.2083
Estaca* Enraizador* Fertilización	0.3074	0.6458	0.8521	0.1957	0.2938	0.2025	0.0289	0.3949	0.9772

3.3.1 Respuesta al tipo de estaca

Al factor tipo de estaca, respondieron con diferencias significativas en la comparación de medias ($P \leq 0.05$) las variables relacionadas a los brotes con hojas, en primer lugar el diámetro del cuello del brote, en el que las estacas duras alcanzaron los 2.68 mm en promedio y las estacas blandas los 2.23 mm

en promedio (Cuadro 3). También hubo diferencias en el largo del brote tanto a la yema como a la punta de las hojas fue superior en las estacas duras con 71.85 y 214 mm en promedio, respectivamente, contra los 45.45 y 165.60 mm en promedio de las blandas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Respuesta al tipo de estaca (promedio)

Tipo de estaca	Diámetro brote	Largo del brote hasta la yema	Largo del brote hasta la punta de la hoja	Largo de raíz	Altura de brote de raíz	Peso fresco hojas	Peso fresco raíz	Peso seco hojas	Peso seco raíz
Dura	2.68 a	71.85 a	214 a	104.1 a	13.62 a	3.43 a	0.97 a	0.68 a	0.2 a
Blanda	2.23 b	45.45 b	165.60 b	93.1 a	11.92 a	2.94 a	0.83 a	0.52 a	0.13 a

* Media con letra diferente en una misma fila indica diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P = 0.05$.

Las ramas con diámetros superiores alojan entre sus células gran cantidad de reservas alimenticias como carbohidratos, los cuales se degradan para alimentar a las yemas que originarán brotes o raíces adventicias (Hartmann y Kester, 1991), lo que explica que las estacas duras, que se tomaron de la parte basal de las ramas y tienen mayores diámetros que las estacas blandas, desarrollaron mayores diámetros y longitud de hojas.

Veierskov (1988), describe una relación positiva del contenido de carbohidratos con la capacidad de enraizado y el número de raíces formadas en estacas de diferentes especies leñosas y herbáceas, y agrega que es común que exista un gradiente en la concentración de carbohidratos desde el ápice hasta la base de los tallos. Hartmann y Kester (1991) señalan que las estacas más gruesas provenientes de la porción basal de las ramas, acumulan un mayor contenido de carbohidratos de reserva. Tal patrón se ajusta y posiblemente explica los resultados obtenidos.

Este resultado coincide con lo obtenido por Liao, Imán y Soplín (2012), que probaron la reproducción vegetativa de la especie *Myrciaria dubia* (H.B.K.) y obtuvieron los mejores promedios de brotación de hojas del material vegetal con diámetro grueso. La diferenciación de estacas duras y blandas no generó

diferencias significativas en la comparación de medias ($P \leq 0.05$) para el resto de las variables evaluadas (Cuadro 3).

3.3.2 Respuesta a la aplicación de enraizador

La aplicación de enraizador generalmente tiene efectos en la respuesta del crecimiento de raíces, pues funciona mediante la aplicación de auxinas sintéticas que estimulan las divisiones celulares del primordio radical, posiblemente porque favorecen la reacción de conjugación que permite la síntesis de proteínas específicas e incrementan el desarrollo del callo (Wilson, 1994), pero además se consideran hormonas de crecimiento de plantas, debido a su capacidad de estimular el crecimiento en respuesta a estímulos como la luz (Zhao, 2010).

La aplicación de enraizador a las estacas produjo mayores valores en el largo del brote, tanto en el que se midió hasta la yema como en el medido hasta la punta de las hojas, siendo sus promedios 69.4 y 214.3 mm, respectivamente (Cuadro 4). Las estacas sin enraizador produjeron largos de 47.9 y 165.3 mm promedio (Cuadro 4), para las mismas variables. Los pesos de las hojas producidas por las estacas también presentaron una diferencia significativa en la comparación de medias ($P \leq 0.05$) para peso fresco (3.78 g) y peso seco (0.72 g) para la aplicación de enraizador y peso fresco (2.59 g) y peso seco (0.49 g) sin enraizador (Cuadro 4). Este resultado coincide con el de Boschini y Rodríguez (2002), quienes aplicaron diferentes dosis de ácido indol-butírico (AIB) a estacas de *Morus alba* para estudiar el efecto sobre la brotación total de yemas y raíces, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la aplicación y no aplicación de AIB.

Cuadro 4. Respuesta a la aplicación de enraizador (promedio)

Aplicación de enraizador	Diámetro brote	Largo del brote hasta la yema	Largo del brote hasta la punta de la hoja	Largo de raíz	Altura de brote de raíz	Peso fresco hojas	Peso fresco raíz	Peso seco hojas	Peso seco raíz
Con	2.47 a*	69.4 a	214.3 a	103.75 a	13.13 a	3.78 a	1.07 a	0.72 a	0.21 a
Sin	2.44 a	47.9 b	165.3 b	93.45 a	12.43 a	2.59 b	0.74 a	0.49 b	0.12 a

* Media con letra diferente en una misma fila indica diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P = 0.05$.

En este caso no se produjeron diferencias significativas en la comparación de medias ($P > 0.05$) para las variables relacionadas con la producción de raíz, es decir, el largo y peso de las raíces producidas por las estacas.

Hartmann y Kester (1991) afirman que la formación de raíces adventicias puede depender de ciertos factores inherentes no translocables, determinados por el genotipo de las células individuales del tejido y a factores endógenos del enraizamiento presentes en cada individuo, además que la falta de respuesta a la aplicación de la auxina sintética puede deberse a que estas especies poseen suficiente cantidad de auxina natural para promover el enraizamiento.

Se ha encontrado en otras especies esta misma situación, donde los porcentajes de enraizamiento son similares aun sin la aplicación de enraizadores, por ejemplo en *Pinus pinaster* (Majada *et al.*, 2011), *P. taeda* (Alcantara *et al.*, 2008) o *P. patula* (Rivera-Rodriguez *et al.*, 2016).

3.3.3 Respuesta al nivel de fertilización

En el análisis de comparación de medias para los niveles de fertilización no se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias ($P > 0.05$) en las variables que respondieron a los otros factores (Cuadro 5), esto puede deberse al poco tiempo que se expusieron a este factor o la poca presencia de raíces que pudieran absorber el fertilizante. Los resultados fueron similares a los de *Calibrachoa linearis* y *C. kleinii*, que se sometieron a dos niveles de fertilización sin que sus crecimiento y características morfológicas fueran significativamente diferente entre dosis de fertilizante (Bualó *et al.*, 2006)

Cuadro 5. Respuesta al nivel de fertilización (promedio)

Nivel de fertilización	Diámetro brote	Largo del brote hasta la yema	Largo del brote hasta la punta de la hoja	Largo de raíz	Altura de brote de raíz	Peso fresco hojas	Peso fresco raíz	Peso seco hojas	Peso seco raíz
Alta	2.53 a	61.65 a	198.7 a	103.7 a	13.05 a	3.34 a	0.99 a	0.61 a	0.18 a
Baja	2.39 a	55.65 a	180.9 a	93.5 a	12.5 a	3.02 a	0.82 a	0.61 a	0.15 a

* Media con letra diferente en una misma fila indica diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P = 0.05$.

3.3.4 Interacción enraizador*fertilización

La interacción del enraizador y el fertilizante tuvo efectos sobre las variables largo del brote hasta la yema y largo del brote hasta la punta de la hoja, evidenciados en el análisis estadístico ($P = 0.0179$ y $P = 0.0386$, respectivamente) (Cuadro 2).

Con la aplicación de enraizador, los valores más altos de largo de brote se generaron con la aplicación de la dosis baja de fertilización, y disminuyeron con la dosis alta de fertilización. Cuando se aplicó fertilización alta se tuvo un valor similar independiente de la aplicación de enraizador (Figura 1 y 2). Sin aplicación de enraizador, el largo del brote aumentó conforme lo hizo la dosis de fertilización (Figura 1 y 2).

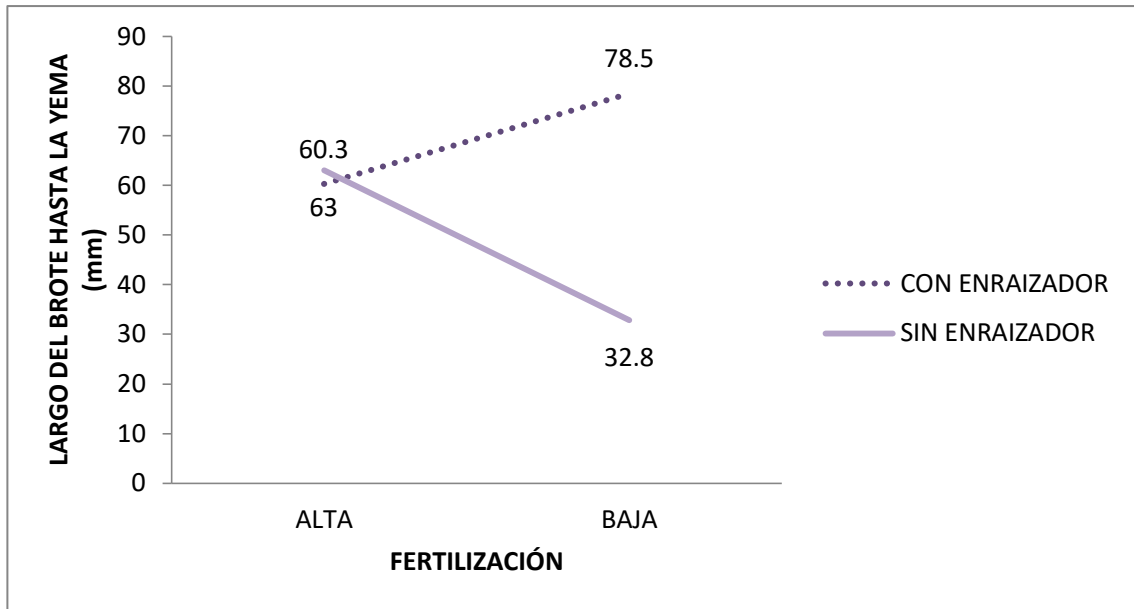


Figura 1. Efecto de la interacción enraizador*fertilización en el largo del brote hasta la yema

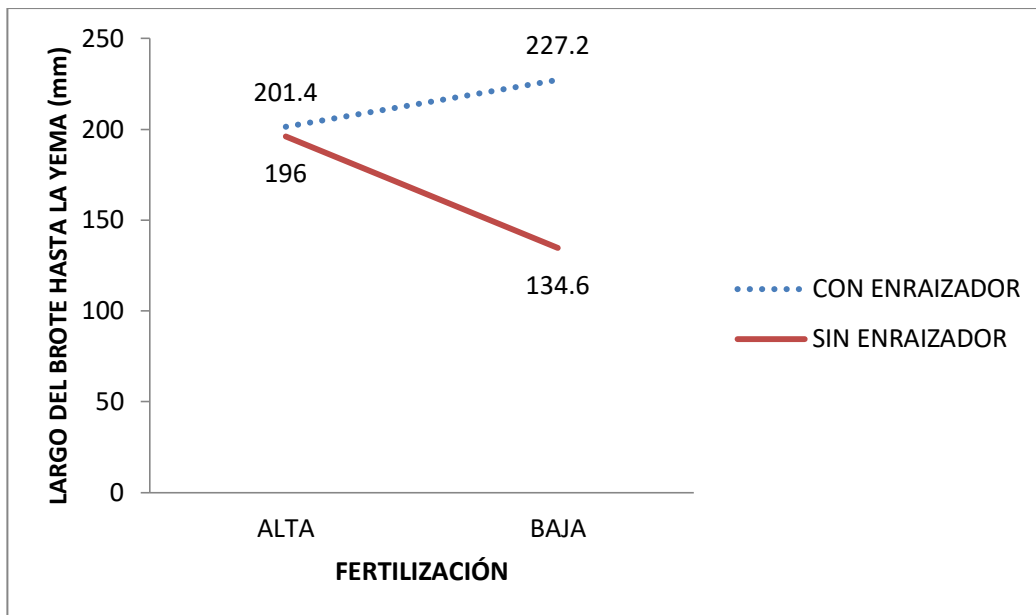


Figura 2. Efecto de la interacción enraizador*fertilización en el largo del brote hasta la punta de la hoja

3.3.5 Indicadores de calidad de planta

Relación peso seco de hojas / peso seco de raíces

Para el cálculo de esta relación se utilizaron únicamente los pesos secos de raíces y hojas, que fueron los nuevos tejidos que se produjeron por la estaca.

Una relación igual a uno, significa que la biomasa aérea es igual a la subterránea; pero si el valor es menor a uno, entonces la biomasa subterránea es mayor que la aérea; al contrario, si el valor es mayor a uno, la biomasa aérea es mayor que la subterránea. En este caso todos los valores fueron superiores a uno, indicando una raíz poco desarrollada con respecto a la parte aérea y puede repercutir en la resistencia al estrés hídrico en el campo (Rodríguez, 2008; Prieto *et al.*, 2009). El análisis de esta variable no se fue estadísticamente significativo ($P > 0.05$) (Cuadro 6).

Valores similares a los obtenidos de la evaluación de hojas y raíces de *Acer negundo* (mayores a 4) (Cuadro 7), se han encontrado en especies como *Tabebuia rosea* y *Swietenia humilis* donde se calificaron como plata de baja calidad (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014).

Índice de Dickson

El índice de calidad de Dickson se ha llegado a considerar como el mejor parámetro para indicar la calidad de planta, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, lo que evita seleccionar plantas desproporcionadas y descartar ejemplares de menor altura pero con mayor vigor (García, 2007).

En México se ha categorizado la calidad de planta de acuerdo al índice de Dickson, considerando de baja calidad las plantas con valores de 0.20 o menos, calidad de media con valores entre 0.45 y 0.20 y de calidad alta con 0.5 o más (Sáenz *et al.*, 2014). En general puede considerarse que a valores más altos la planta es de mayor calidad (Villalobos *et al.*, 2017). El análisis de la variable

muestra significancia estadística ($P < 0.0001$), influenciada principalmente por el factor estaca (Cuadro 6).

La prueba de Tukey indicó los mejores resultados en cuanto al índice de Dickson para las estacas duras (Cuadro 7), lo que puede deberse a la baja producción de biomasa radical (Guzman *et al.*, 2012) de estas estacas.

Cuadro 6. Análisis estadístico de índices de calidad de planta

	Peso seco hojas / peso seco raíz	Índice de Dickson
		Pr>F
Modelo	0.5883	< 0.0001*
Estaca	0.1617	< 0.0001
Enraizador	0.4252	0.3800
Fertilización	0.3597	0.3423
Estaca*Enraizador	0.6220	0.1540
Estaca*Fertilización	0.7789	0.5409
Enraizador*Fertilización	0.4881	0.8019
Estaca*Enraizador* Fertilización	0.2708	0.6501

Cuadro 7. Prueba de Tukey para índices de calidad de planta

Factores	Peso seco hojas / peso seco raíz (promedio)	Índice de Dickson (promedio)
Tipo de estaca		
Dura	9.08 a	3.12a*
Blanda	4.31 a	0.66b
Enraizador		
Con	8.04 a	2.03 a
Sin	5.35 a	1.75 a
Fertilización		
Alta	8.24 a	2.04 a
Baja	5.15 a	1.74 a

* Media con letra diferente en una misma fila indica diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P = 0.05$.

3.4 Conclusiones

Del las estacas establecidas en el experimento, 156 presentaron brotes con hojas y 16% generaron raíces.

La aplicación de enraizador produjo el mejor enraizamiento de las estacas de *Acer negundo* (20.48% de enraizamiento).

Respecto al tipo de estaca respondieron con diferencias significativas en la comparación de medias las variables diámetro del cuello del brote y largo del brote tanto a la yema como a la punta de las hojas, siendo superiores las estacas duras.

La aplicación de enraizador a las estacas produjo mayores valores en el largo del brote tanto en el que se midió hasta la yema como en el medido hasta la punta de las hojas y en los pesos de las hojas producidas por las estacas para peso fresco y peso seco.

En el análisis de comparación de medias para los niveles de fertilización no se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias en las variables morfológicas medidas.

La mejor calidad de planta en cuanto a la relación peso seco de hojas / peso seco de raíces fue producida por las estacas duras.

Los mayores valores de índice de Dickson fueron producidos por las estacas duras, lo que indica que son de mayor calidad de planta.

Se recomienda el uso del índice de Dickson como indicador de calidad para plantas propagadas por estacas, ya que califica el equilibrio entre la masa producida por la estaca y la robustez de la misma, obteniendo mejores calificaciones conforme dichas características se estabilizan.

3.5 Literatura citada

Albertson, F. W. & Weaver, J. E. (1945). Injury and death or recovery of trees in prairie climate. *Ecological Monographs*, 15(), 393-433.

Aparicio-Rentería, A., Juárez-Cerrillo, S. F., & Sánchez-Velásquez, L. R. (2014). Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México. *Madera y bosques*, 20(1), 85-96.

Aparicio-Rentería, A., Ramírez-García, E. O., & Cruz-Jiménez, H. (2006). Multiplicación clonal de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa a través del establecimiento y manejo de setos para la producción de estacas. *Foresta Veracruzana*, 8(1):17-22.

Birchler, T. A., Royo, A., y Pardos, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Forest Systems*, 7(1), 109-121.

Blando Navarrete, J. L., Luengas Jiménez, B. C., & Bautista Barrón, B. E. (2005). Enraizamiento estacional de varetas de orégano (*Lippia berlandieri* Schawer). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(2).

Borys, M.W., Espinoza, M. A., Nieto, A. & Ortega, A. J. R. (1997). Propagación clonal del tejocote (*Crataegus* spp.) por estacas de raíz. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 3(2), 63-70.

Boschini Figueroa, C., y Rodríguez, A. M. (2002). Inducción del crecimiento en estacas de morera (*Morus alba*), con ácido indol butírico (AIB). *Agronomía mesoamericana* 13(1), 19-24.

Bualó, R. A., Karlanian, M., Vivas, S., García, L. E. A., Hagiwara, J. C., & Greppi, J. A. (2006). Ensayo en dos especies nativas de *Calibrachoa* sp.(*C. linearis* y *C. kleinii*) bajo dos niveles de fertilización. En 3º Congreso Argentino de Floricultura. 8º Jornadas Nacionales de Floricultura (7-10).

Buendía-González, L., Orozco-Villafuerte, J., Cruz-Sosa, F., Chávez-Ávila, V. M., Vernon-Carter, E. J., & Newton, R. J. (2007). Clonal propagation of mesquite tree (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd. MC Johnston). I. Via cotyledonary nodes. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 43(3), 260-266.

Castellanos-Castro, C., & Bonfil-Sanders, C. (2010). Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera Jacq. ex L.* *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(2), 93-108.

Castillo-Flores, J. D., López-López, M. A., López-Upton, J., Cetina-Alcalá, V. M., & Hernández-Tejeda, T. (2013). Factores de influencia en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(1), 175-184.

Comisión Nacional Forestal (Conafor) – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2010). *Acer negundo* L.

recuperado de:
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/877Acer%20negundo.pdf>

Cuevas-Cruz, J. C., Jiménez-Casas, M., Jasso-Mata, J., Pérez-Rodríguez, P., López-Uptón, J., & Villegas-Monter, Á. (2015). Propagación asexual de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 21(1), 81-95.

Alcantara, G. B., Ribas, L. L. F., Higa, A. R., & Ribas, K. C. Z. (2008). Effect of indolbutyric acid (IBA) and the collection of shoots in different seasons of the year on minicutting rooting of *Pinus taeda* L. *Scientia Forestalis*, 78, 151-156.

Flores, G. A., Castillo, M. C. R., Pineda, O. T., Guerra, de la C. V. & Toledo, G. K. I. (2013). *Macropropagación asexual de Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco a través del enraizamiento de estacas*. Folleto Técnico Núm. 8. CENID-COMEF, INIFAP. México, D.F., México. 36 p.

Fu Z., Du J., Meng Y., Wang L. & Zhang H. (2015). Effect of different substrates and cutting facilities on tender branch cutting propagation of *Acer negundo* "Auratum". *Revista China de Ciencias Agrícolas*, 31 (31), 25-29

García, M. A. (2007). Importancia de la calidad del plantín forestal. En: INTA-AIANER / XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos (Eds.) *Actas de presentaciones*. (1-10)

Green, G. R. (1934). *Trees of North America, Vol. II-The Broadleaves*. Michigan, Estados Unidos: Edwards Bros.

Guzmán-Antonio, A., Borges-Gómez, L., Pinzón-López, L., Ruiz-Sánchez, E., & Zúñiga-Aguilar, J. (2012). Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. *Agronomía mesoamericana*, 23(2).

Hartmann, H. T., & Kester, D. E. (1991). *Propagación de plantas: Principios y prácticas*. D.F, México: Continental.

Hernández D., J. C. (1977). *Estudio de algunos factores que afectan el prendimiento de estacas de Populus alba L., P. balsamífera DuRoi, P. x canadensis Moench. Y Acer negundo L.* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo.

Komissarov, D. A. (1964). *Biologicheskie osnovy razmnozheniya drevesnykh rastenii cheren- kami [Biological basis for the propagation of woody plants by cuttings]*. Moscú, Rusia: Lesnaya Promyshlennost.

Liao Torres, J. O., Imán Correa, S. A., y Soplín Ríos, J. A. (2012). Efecto de la ubicación y diámetro de la rama en tres genotipos promisorios de *Myrciaria dubia* (HBK) "camu camu" para propagación vegetativa por acodo aéreo. *Scientia Agropecuaria*, 3(3) 225-233.

Majada, J., Martínez-Alonso, C., Feito, I., Kidelman, A., Aranda, I., y Alía, R. (2011). Mini-cuttings: an effective technique for the propagation of *Pinus pinaster* Ait. *New Forests*, 41(3) 399-412.

- Mesén, F. (1998). Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub - irrigación. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Muñoz Flores, H. J., Orozco Gutiérrez, G., García Magaña, J., Coria Avalos, V. M., Salgado Garciglia, R., Santiago, S., & del Rocío, M. (2011). Épocas de colecta y tratamientos para enraizamiento de estacas de cirimo *Tilia mexicana* Schlecht.(Tiliaceae). *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(3), 13-24.
- Muñoz-Gutiérrez, L., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., & Soto-Hernández, M. (2009). Effect of cutting age and substrate temperature on rooting of *Taxus globosa*. *New forests*, 38(2), 187-196.
- Navarrete-Luna, M., & Vargas-Hernández, J. (2005). Propagación asexual de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Utilizando Radix en diferentes concentraciones. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(2).
- Palanisamy, K. & K. Subramanian. (2001). Vegetative propagation of mature teak trees (*Tectona grandis* L.). *Silvae Genetica* 50 (5): 188-191.
- Prieto, R. J. A., García, R. J. L., Mejía, B. J. M., Huchín, A. S., & Aguilar, V. J. L. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. *Publicación Especial*, (28).
- Quintero Sánchez, A. I., Rodríguez Trejo, D. A., Guízar Nolasco, E., & Bonilla Beas, R. (2008). Propagación vegetativa de la vara de perlilla (*Symphoricarpos microphyllus* HBK). *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 14(1), 21-26.
- Ramos Gavilanes, L; Cruz Rosero, N; Morante Carriel, J; Villacís, O; (2006). Empleo de hormonas (ANA y AIB) estimuladoras del enraizamiento para la propagación vegetativa de *Chlorophora tinctoria* (L) Gaud (moral fino) en el litoral ecuatoriano. *Foresta Veracruzana*, 8() 9-12.
- Ramos-Palacios, R., Orozco-Segovia, A., Sánchez-Coronado, M. E., & Barradas, V. L. (2012). Vegetative propagation of native species potentially useful in the restoration of Mexico City's vegetation. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(), 809-816.
- Ritchie, A. G. Landis, T. D. Dumroese, R. K. y Haase D. L. (2010) "Assessing Plant Quality" En Landis, T.D.; Dumroese, R.K.; Haase, D.L. (Eds.) (2010). The Container Tree Nursery Manual. Volume 7, Seedling Processing, Storage, and Outplanting Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service.
- Rivera-Rodríguez, M. O., Jesús Vargas-Hernández, J., López-Upton, J., Villegas-Monter, A., & Jiménez-Casas, M. (2016). Rooting of *Pinus patula* cuttings. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(4), 385-392.
- Rodríguez T., D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. México, D. F. México: Mundi-Prensa.

- Rodríguez, H. M., Villalobos, J. A. M., González, M. R., Ramírez, G. D., & Salcedo, R. J. (2016). Determinación de las mejores épocas para la propagación de higuera a través de acodo aéreo en la región lagunera. *AGROFAZ*, 16(2), 51-62.
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. D. D., Saenz-Reyez, J., Muñoz Flores, H. J., Prieto-Ruiz, J. Á., & Orozco Gutiérrez, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(22), 58-73.
- Ruiz García, R; Vargas Hernández, J J; Cetina Alcalá, V M; Villegas Monter, Á; (2005). Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(), 319-326.
- Sáenz R., J., Muñoz F., H. J., Pérez, D., Ángel, C. M., Rueda S., A., y Hernández R., J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(26), 98-111.
- Sánchez, J. J. M., Hernández, J. J. V., Peralta, M. C. L., & Mata, J. J. (1998). Enraizado de estacas juveniles en cinco especies de coníferas ornamentales: efecto del ácido indolbutírico AIB y de la temperatura. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 23(84), 29-38.
- Van Dersal, William R. (1938). *Native woody plants of the United States, their erosion-control and wildlife values*. Washington, Estados Unidos: U.S. Department of Agriculture.
- Vargas-Simón, G., Arellano-Ostoa, G., & Soto-Hernández, R. (1999). Enraizamiento de estacas de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.) sometidas a aplicaciones de auxinas. *Bioagro*, 11(3), 103-108.
- Vázquez-Yanes, C. y V. Cervantes. (1993). Estrategias para domesticación y propagación de árboles nativos de México. *Ciencia y Desarrollo*. 19(113), 52-58
- Veierskov B. 1988. Relations between carbohydrates and adventitious root formation, pp. 70-78. In: T.D. Davis, B.E. Haissig and N. Sankhla (eds). *Adventitious Root Formation in Cuttings*. Dioscorides Press, EE. UU.
- Villalobos, E. B., López, M. Á. L., Alcalá, V. M. C., Aldrete, A., y Suárez, J. J. A. (2017). Prácticas culturales en vivero que influyen en la calidad de planta de *Enterolobium cyclocarpum*. *BOSQUE*, 35(3), 301-309.
- Wightman, K. E., y Cruz, B. S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana*, 5(1).
- Wilson, P. J. (1994). The concept of a limiting rooting morphogen in woody stem cuttings. *Journal of Horticultural Science*. 69 (4): 591-600.
- Zhao, Y. (2010). Auxin biosynthesis and its role in plant development. *Annual Review of Plant Biology*. 61 49.