UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
SUELOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

CALIDAD DE LEÑA DE ESPECIES NATIVAS DE LA SIERRA GORDA DE GUANAJUATO Y PROPAGACIÓN DE *Arbutus glandulosa*

TESIS

Que como requisito parcial

Para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO MEXICO
DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Presenta:

SOFIA VIOLETA ALVARADO MACHUCA

Bajo la dirección de: Dra. **MARÍA EDNA ÁLVAREZ SÁNCHEZ**



Enero de 2012
Chapingo, Estado de México

CALIDAD DE LEÑA DE ESPECIES NATIVAS DE LA SIERRA GORDA DE GUANAJUATO Y PROPAGACIÓN DE *Arbutus glandulosa*

Tesis realizada por SOFÍA VIOLETA ALVARADO MACHUCA bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERIA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

DIRECTOR: _____

Dra. María Edna Álvarez Sánchez

ASESOR: _____

Dr. Ranferi Maldonado Torres

ASESOR: _____

Dr. Alejandro Sánchez Vélez

CALIDAD DE LEÑA DE ESPECIES NATIVAS DE LA SIERRA GORDA DE GUANAJUATO Y PROPAGACIÓN DE *Arbutus glandulosa*

QUALITY WOOD OF NATIVE SPECIES TO THE SIERRA GORDA OF GUANAJUATO AND PROPAGATION OF *Arbutus glandulosa*

Sofía Violeta **Alvarado Machuca**[1], Ma. Edna **Álvarez Sánchez**[2]

RESUMEN

En la comunidad Las Casitas, enclavada en la Reserva de la Biósfera, de la Sierra Gorda del estado de Guanajuato, la población rural depende de diferentes especies vegetales para la extracción de leña en la cocción de sus alimentos, lo que ha generado una fuerte presión sobre el bosque poniendo en peligro de extinción a árboles y arbustos nativos. Con base en esta problemática se identificaron las especies nativas más demandadas por la comunidad y se caracterizó la calidad de leña de dichas especies, para seleccionar las de mayor potencial de inclusión en tecnologías agroforestales. En orden de importancia, éstas son: madroño (*Arbutus glandulosa*) encino (*Quercus rugosa*), tepozán (*Buddleia cordata*) y escoba (*Baccaris conferta*), de las cuales, las dos primeras presentan la mejor calidad de leña. De estas especies, el madroño se encuentra en peligro de extinción en la zona, razón por la cual resulta importante reproducirlo en forma asexual para asegurar la estabilidad genética de la especie. Por lo anterior, en esquejes de *Arbutus glandulosa* colectados en dos épocas del año y con diferente grado de madurez, se determinó la inducción de enraizamiento mediante la aplicación de auxinas (ácido indol butírico, ácido naftalenácetico, sales de potasio del ácido indolbutírico y su combinación). Los tratamientos ensayados no promovieron el enraizamiento, independientemente de la posición del esqueje y época de colecta, lo que manifiesta la dificultad de la especie para su propagación asexual.

Palabras clave: leña, tecnologías agroforestales, *Arbutus glandulosa*, auxinas

ABSTRACT

In the community of Las Casitas located in the Reserva de la Biósfera, Sierra Gorda in Guanajuato state, the rural population depends on different plants for the extraction of firewood for cooking their food, which has generated a strong pressure putting on the forest endangered native trees and shrubs. Based on these problems native species most sought by the community were identified and the quality of wood of these species was characterized, to select the highest potential for inclusion in agroforestry technologies. In order of importance, these are: strawberry tree (*Arbutus glandulosa*), oaks (*Quercus rugosa*), Tepozán (*Buddleia cordata*) and escoba (*Baccaris conferta*), of which the first two have the best wood quality. The strawberry tree is in dangered species in the area, which is why it is important to reproduce asexually in order to ensure the genetic stability of the species. Therefore, in cuttings of *Arbutus glandulosa* which were collected in two seasons and with different degrees of maturity induction was determined by applying rooting auxin (indole butyric acid, naphthaleneacetic acid, potassium salts of indole butyric acid and their combination). The treatments tested did not promote rooting, regardless of the position of the cutting and collection time, which demonstrates the difficulty of the species for asexual propagation.

Key words: firewood, agroforestry technologies, *Arbutus glandulosa*, auxins

[1]Tesista
[2]Director

INDICE GENERAL

CONTENIDO **Pág.**

1. INTRODUCCIÓN 10
OBJETIVOS E HIPÓTESIS 12
2. MARCO TEÓRICO 13
2.1. La leña y su consumo en algunas comunidades de México 13
2.1.1. Problemática asociada al consumo de leña 15
2.1.2. Alternativas para el consumo de leña 17
2.2. Proceso de combustión y calidad de la madera 21
2.2.1. Especies nativas con potencial dendroenergético 22
2.2.2. Propagación vegetativa o asexual 25
2.2.3. Condiciones para la obtención de las estacas 26
2.2.4. Características de las estacas 28
2.2.5. Respuesta de algunas especies al tratamiento hormonal 30
2.3. Sustratos para enraizamiento 33
2.3.1. Tratamientos del sustrato 36
3. MATERIALES Y MÉTODOS 37
3.1. Identificación de especies nativas con potencial dendroenergético 37
3.2. Determinación de la calidad de leña 38
3.3. Efecto de auxinas en esquejes de otoño 41
3.3.1. Colecta de esquejes 42
3.3.2. Hormonas de enraizamiento 43
3.3.3. Diseño de tratamientos y experimental 43
3.4. Efecto de auxinas en esquejes de primavera 44
3.4.1. Colecta de esquejes 45
3.4.2. Hormonas de enraizamiento 46
3.4.3. Diseño de tratamientos y experimental 46
3.4.4. Determinación de la concentración nutrimental 46
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 48
4.1. Identificación de especies nativas y calidad de leña 48
4.2. Inducción del enraizamiento en esquejes de otoño 51

4.3. Inducción del enraizamiento en esquejes de primavera 53
4.4. Concentración nutrimental en esquejes de madroño 54
5. CONCLUSIONES 58
6. LITERATURA CITADA 59
ANEXO 1. Cuestionario para conocer las preferencias de uso de la leña 64
ANEXO 2. Ubicación geográfica de las plantas madre 65
ANEXO 3. Preparación de auxinas para la aplicación de tratamientos 66

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Consumo de leña en las zonas ecológicas de México (Escobar et al., 2009). 14
Cuadro 2. Especies registradas como combustibles (Camou, 2007). 23
Cuadro 3. Uso de leña y otros combustibles en la Sierra Tarahumara (Camou, 2007). 24
Cuadro 4. Condiciones de propagación en diferentes especies nativas 29
Cuadro 5. Calidad de leña de especies nativas de la Sierra Gorda de Guanajuato. 50
Cuadro 6. Correlación entre las variables determinantes de la calidad de leña 51
Cuadro 7. Sobrevivencia y enraizamiento de esquejes de madroño en otoño 52
Cuadro 8. Sobrevivencia y enraizamiento de esquejes de madroño en primavera 53
Cuadro 9. Concentración nutrimental de esquejes de madroño en otoño. 55
Cuadro 10. Concentración nutrimental de esquejes de madroño en primavera. 56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ambiente donde se colecto el material vegetativo. 37
Figura 2. Material para determinar calidad de leña 38
Figura 3. Muestra de escoba (Baccaris conferta) y calorimetro Isoperibólico. 39
Figura 4. Pesado de muestras de madera. 39
Figura 5. Colocación del alambre en el dispositivo para iniciar la combustión. 40
Figura 6. Bomba de oxígeno donde se realiza el proceso de combustión 40
Figura 7. Colocación de la bomba de oxígeno y sofware del equipo 40
Figura 8. Titulación del agua resultante de la combustión 41
Figura 9. Arboles de madroño (Arbutus glandulosa) para el muestreo de esquejes. 42
Figura 10. Acomodo de tratamientos en el diseño experimental 44
Figura 11. Colecta del material de primavera. 45
Figura 12. Desarrollo de brotes epicórmicos en esquejes de madroño. 51
Figura 13. Esquejes de madroño al final del experimento. 54

El niño toma el fruto del árbol sembrado por su abuelo. Si no hay árbol, no podrá recibir nada. Si toda una generación piensa en sí misma, ¿Qué dejará? Aun cuando no seamos nosotros quienes recojamos el fruto, tenemos la obligación de plantar los árboles.

Kim Woo Chong

AGRADECIMIENTOS

Infinitas gracias a todos los seres que directa o indirectamente contribuyeron para que la materialización de este sueño se hiciera posible.

A CONACyT por la Beca y facilidades otorgadas para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Dra. María Edna Álvarez Sánchez por su incondicional y gran ayuda durante todo el proceso de investigación y elaboración de este documento.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres y al Dr. Alejandro Sánchez Vélez por sus valiosas aportaciones.

Al Departamento de Zootecnia por las facilidades brindadas para el uso del Laboratorio de Nutrición y al Dr. Eliseo Sosa Montes por su apoyo en la determinación de la calidad de leña.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Sofía Violeta Alvarado Machuca

Fecha de nacimiento: 13 de noviembre de 1977

Lugar de nacimiento: México, Distrito Federal

CURP: AAMS771113MDFLCF04

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia

Cedula profesional: 6621715

Desarrollo académico

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Licenciatura: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, Departamento de Enseñanza e Investigación en Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Maestría: Maestra en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Programa de Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Departamento de Suelos Universidad Autónoma Chapingo.

1. INTRODUCCIÓN

La Sierra Gorda de Guanajuato se encuentra ubicada al noreste del estado de Guanajuato, es una región montañosa que forma parte de la Sierra Madre Oriental. Fue declarada Reserva de la Biósfera en 1997, de acuerdo con un decreto emitido por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Sin embargo existen especies vegetales y animales en riesgo o en amenaza de extinción, que deben ser sujetas a una protección especial.

En la comunidad Las Casitas que forma parte de la Reserva de la Biósfera de la Sierra Gorda de Guanajuato, la población rural depende de diferentes especies vegetales de las cuales históricamente ha extraído leña para la cocción de alimentos, esto ha generado una fuerte presión sobre el bosque poniendo en peligro de extinción a especies como el madroño (*Arbutus glandulosa*). Una alternativa viable de rescate es mediante la domesticación de especies nativas para restauración ecológica que faciliten la obtención de leña de forma sencilla y reducir la presión sobre el recurso vegetal (Sánchez y Domínguez, 1989). Para la selección de especies combustibles, en la mayoría de los casos, se han utilizado criterios cualitativos establecidos por los usuarios (Escobar *et al.,* 2009), faltando información sobre sus propiedades cuantitativas como densidad, calor de combustión, porcentaje de humedad, cantidad de compuestos volátiles y de ceniza producida.

Para esta región también se requiere realizar investigación acerca de la reproducción asexual de especies nativas, proceso que permitirá acelerar el proceso de obtención de plantas con fines de restauración ecológica. Para la reproducción asexual es

necesario aplicar hormonas (auxinas, citocininas y giberelinas) promotoras del crecimiento que son transportadas dentro de la planta para ayudar en la inducción de raíces. Factores como la edad de la planta madre, su estado fenológico y nutrimental, así como la época en que se obtiene el material vegetativo influyen en la presencia o ausencia de estos compuestos orgánicos (Dehgan *et al*., 1989; PNUMA, 2002).

Con base en lo anterior, en la presente investigación se propusieron los siguientes objetivos: (a) Identificar especies nativas con mayor demanda para consumo en leña en la comunidad Las Casitas y caracterizar la calidad de leña de dichas especies mediante técnicas cuantitativas para seleccionar aquélla(s) con mayor potencial de inclusión en tecnologías agroforestales; (b) Evaluar en madroño (*Arbutus glandulosa*), la inducción del enraizamiento de esquejes con diferente grado de madurez y colectados en dos épocas del año, mediante la aplicación de auxinas, con la finalidad de reproducirlo en forma asexual para asegurar la estabilidad genética de la especie.

Los resultados de esta investigación contribuirán a mejorar el proceso de producción de plantas necesarias para las actividades de conservación, restauración ecológica y producción sostenible dentro del manejo de la Reserva de la Biósfera.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1. Identificar especies nativas con mayor demanda para consumo de leña en la comunidad Las Casitas, a través de diálogos semi-estructurados y recorridos de campo.
2. Determinar la calidad de leña en las especies nativas identificadas, a través de los parámetros de densidad, calor de combustión y contenido de compuestos volátiles.
3. Evaluar las auxinas ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético, en la inducción del enraizamiento en esquejes de otoño con diferente grado de madurez de ***Arbutus glandulosa***, para obtener plantas que conserven las características genéticas de la planta madre.

   Hipótesis: La aplicación de auxinas en los esquejes de otoño estimulan el proceso fisiológico de diferenciación de raíces, la magnitud del estímulo está en función de la planta madre, la posición del esqueje en la rama y la concentración nutrimental.
4. Evaluar el efecto de las auxinas ácido indolbutírico (IBA) y sales de potasio del ácido indolbutírico (K-IBA) para inducir enraizamiento en material vegetativo de primavera con diferente grado de madurez de ***Arbutus glandulosa***.
5. Hipótesis: La aplicación de las auxinas (ácido indolbutírico y sales de potasio del ácido indolbutírico) en los esquejes de primavera estimulan el proceso fisiológico de diferenciación de raíces; la magnitud del estímulo está en función de la planta madre, de la posición del esqueje en la rama y la concentración nutrimental.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La leña y su consumo en algunas comunidades de México

La leña es un combustible básico para el consumo doméstico que se usa principalmente para la cocción de los alimentos y calefacción del hogar (Soares, 2006); también es empleada por las pequeñas industrias que elaboran carbón, pan, tortillas y alfarería (Camou, 2007). Es un combustible limpio por su bajo contenido de azufre, su nivel de contaminación es inferior a otros combustibles como el carbón mineral. En el medio rural y algunas comunidades del área urbana, las personas usan leña para cocinar sus alimentos y su obtención implica desplazamientos cada vez más distantes, principalmente en las zonas semiáridas del país.

En México 21.1 millones de personas del área rural y 4.5 millones de las zonas urbanas consumen leña (Contreras *et al*., 2003). Las selvas bajas en la vertiente del Pacífico son importantes proveedoras de leña para uso comercial y doméstico. En las zonas áridas y semiáridas los arbustos y matorrales forman parte de casi el 30% de la superficie arbolada del país y también se utiliza como combustible (Norman, 2009).

En el Cuadro 1 se muestra el consumo de leña per cápita para las principales zonas ecológicas del país, donde se observa que se hace un mayor consumo en el bosque tropical húmedo, tal vez porque en esa zona el recurso es más abundante; mientras que el menor consumo se efectúa en zonas áridas. En el centro de Chiapas, se ha estimado que la extracción de leña en los diferentes ecosistemas es de 76% en los cafetales, en los acahuales y bosque primario el 55% y en los potreros el 40% (Escobar *et al*., 2009).

Cuadro 1. Consumo de leña en las zonas ecológicas de México (Escobar *et al*., 2009).

Zona ecológica	kg.día^{-1} por familia
Bosque templado	2.0
Bosque tropical caducifolio	2.5
Bosque tropical húmedo	3.0
Zonas áridas	1.5
Humedales	2.5

De los estudios realizados en México sobre este tópico se estimó que en Yanhuitlán, Oaxaca se consumen en total 1,180 m^3 de leña por año. En Ocuilapa de Juárez, municipio de Chiapas, el gasto doméstico de leña seca es de 23.85 kg al día por familia, que resulta bastante alto respecto al promedio del estado, ya que el 100% de las familias entrevistadas utilizan leña y sólo 37% de ellas usan gas (Escobar *et al*., 2009).

En la Mixteca Poblana el tipo de vegetación predominante es de Bosque Tropical Caducifolio, en ésta se han contabilizado 106 especies maderables, de las cuales 80 se usan como leña (Sánchez, 2008). En esta zona se deforestan anualmente 6,995 hectáreas por actividades agrícolas y pecuarias, donde la extracción promedio de leña se estima en 534,192 m^3. En el año 2007 existían 10.27 millones de metros cúbicos de leña y el gasto anual era de alrededor del 6%, de no hacerse nada en un periodo de 16 años el recurso se acabará. En la Sierra Tarahumara el consumo de leña asciende a 705 toneladas anuales, acción que está generando un impacto negativo en los Recursos Naturales, principalmente deforestación por una extracción de madera con fines comerciales (Camou, 2007). La obtención de energía a partir de la leña es una realidad en México, por lo que es necesario desarrollar alternativas para hacer un mejor aprovechamiento y mejorar las fuentes tradicionales de obtención de la misma. Se puede aprovechar la ventaja que ofrecen las condiciones edafoclimáticas del país para lograr un crecimiento

adecuado de especies vegetales, de forma natural o en plantaciones, además de aprovechar la experiencia en el manejo y utilización de las poblaciones forestales y desarrollar técnicas especiales de aprovechamiento con fines energéticos. La madera presenta la ventaja de ser cultivada y de tener tanta cuanta queramos a diferencia de los combustibles fósiles. También las condiciones de muchas poblaciones rurales del país no cuentan con la infraestructura de comunicación, ni con el presupuesto necesario para la adquisición de aparatos adaptados al uso de gas (Patiño, 1989).

2.1.1. Problemática asociada al consumo de leña

Soares (2006) reporta que en los Altos de Chiapas, la mujer tiene una estrecha relación con los Recursos Naturales y en especial con la leña, es la más afectada por la escasez del recurso. Por lo tanto, se le atribuye a ella la responsabilidad de conservar y restaurar los recursos naturales, así como la adopción de nuevas tecnologías en el hogar. En esta comunidad, las mujeres son las que se encargan de abastecerse de recursos para cumplir con la función doméstica, del acarreo de la leña. El consumo de leña debe hacerse desde el enfoque de sostenibilidad, buscando la conservación ambiental a través de la disminución en el consumo de leña por medio de la construcción de estufas ahorradoras de leña. En cuanto a la equidad se busca sensibilizar a los hombres para que valoren las actividades cotidianas de las mujeres, potenciar las capacidades y habilidades de ellas. Es necesario también que haya un crecimiento económico que se refleje en una mejor salud familiar y ahorro por la compra de leña. En el centro de Chiapas, Escobar *et al*. (2009) encontraron que el 96% de los casos estudiados usan fogón abierto tradicional que tiene una eficiencia de 5-17%, por lo que es necesaria la adopción de tecnologías más eficientes de uso, como las estufas ahorradoras de leña. La misma situación es

reportada por Norman (2009) en la mixteca poblana, donde el 83% de las familias rurales usan hasta 10 m^3 de leña al año para cocinar en fogones abiertos, generando humo causante de enfermedades respiratorias.

Las agencias rurales del PESA (Programa Especial para la Seguridad Alimentaria) han promovido el cambio de los fogones tradicionales, por estufas ahorradoras de leña que canalizan el humo hacia el exterior, con esta tecnología se reduce el consumo de leña hasta 50% que representa un ahorro anual de 2,000 pesos en la recolección de leña por cada familia. Además, de la adopción de esta tecnología, la regularización de la venta de leña es fundamental para ordenar el aprovechamiento forestal y comercialización de este recurso. Frente al déficit actual en la demanda local y regional de leña se espera que el establecimiento de plantaciones forestales dendroenergéticas contribuya a satisfacer este déficit.

La extracción de leña ocasiona problemas de deforestación, erosión y desertificación, sobre todo cuando se derriban árboles vivos (Contreras *et al*., 2003), acción que no se compara con la extracción de las industrias forestales. La problemática sobre la utilización de leña y la conservación del bosque se encuentra influida por características y condiciones socioeconómicas. Esto posee componentes de difícil solución, relacionados con factores como: el sistema de tenencia comunal de la tierra, la utilización de la leña como combustible y su no reemplazo por otros combustibles como el gas, el uso de estufas de fogón abierto que presentan una baja eficiencia y, en consecuencia, un mayor consumo de leña y la no producción de leña con especies de rápido crecimiento.

2.1.2. Alternativas para el consumo de leña

La energización rural debe ser racional y eficiente en el uso de combustibles, formando parte de las acciones de desarrollo rural integral, teniendo en cuenta que el análisis de los aspectos energéticos es una condición necesaria pero no suficiente para lograr dicho desarrollo. Debe preverse la conservación de los recursos naturales mediante la introducción de tecnologías de uso energético más eficientes, recuperación de recursos naturales degradados a través de plantaciones energéticas, conservación de la biodiversidad y disminución de la presión migratoria del campo hacia las zonas urbanas o hacia frentes de colonización en tierras no aptas para uso agropecuario sostenible (Best, 1994).

En algunos países se han llevado a cabo programas rurales de electrificación, desarrollados a base de fuentes de energía renovable y esquemas de reforestación con fines multipropósito o directamente energéticos. Pero el impacto de estos esfuerzos ha sido extremadamente limitado, debido fundamentalmente a que han sido realizados en forma aislada, discontinua, sin un marco coherente de políticas de integración intersectorial y sin la participación social de los beneficiarios. La generación de tecnologías validadas debe desarrollarse para atender la energización rural.

En comunidades de la Mixteca Poblana (Norman, 2009) y en los Altos de Chiapas (Soares, 2006) han propuesto introducir estufas ahorradoras de leña como una opción para disminuir el consumo de este combustible, con poco impacto positivo en los recursos maderables ya que no se plantean acciones de reforestación o el establecimiento

de parcelas dendroenergéticas como alternativa de conservación de especies y para asegurar el abasto de combustible.

Con la finalidad de contribuir a disminuir la presión sobre los bosques, en México en los años 1995 y 1997 se desarrolló el proyecto Dendroenergía para el Desarrollo Rural en el Lago de Pátzcuaro Michoacán; Los Altos-Mixtepec, Oaxaca y Tlapa de Comonfort en Guerrero. Se identificaron los patrones de uso de leña en los sectores doméstico y pequeño industrial, para proponer medidas sobre el uso eficiente de esta fuente de energía. Se evidenció la importancia de los recursos forestales como fuente de energía para satisfacer las necesidades de los sectores más pobres de las áreas rurales e identificar las áreas con mayores problemas que necesitan la intervención de la SEMARNAT. En la actualidad los esfuerzos están dirigidos al establecimiento de parcelas dendroenergéticas que disminuyan la presión sobre los recursos maderables.

Atendiendo a la problemática, el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF) desarrolló algunos trabajos de domesticación de especies de árboles importantes en algunas comunidades de África y Perú asegurando su conservación. Para iniciar esta tarea es importante contar con una buena fuente de germoplasma para asegurar la variabilidad genética e involucrar a los habitantes de las comunidades durante todo el proceso, con la finalidad de que se apropien de la tecnología y la utilicen para generar ingresos. La domesticación de los arboles forestales es un proceso de adaptación genética que se inicia dentro de las parcelas agrícolas o en los solares de los productores. Para la domesticación de los árboles y arbustos de usos múltiples deben conjuntarse

conocimientos tradicionales y científicos, ya que de esta forma se fortalecerá el desarrollo de los sistemas agroforestales.

La estrategia del ICRAF para lograr la domesticación de los árboles es priorizar especies por comunidad en base a las necesidades del agricultor, que sea de importancia en el mercado regional, con la investigación científica se buscan los aspectos que hay que mejorar en cada especie de tal forma que aporten mayores beneficios, se hace una búsqueda de fondos para sostener los proyectos y todo esto se hace con un enfoque participativo (Cornelius, 2002).

En México, recientemente se han desarrollado algunas investigaciones dirigidas a la producción de leña que contribuyan a reducir la presión sobre los recursos maderables (Contreras, 2003; Escobar *et al*., 2009; Norman, 2009). Esto incluye el establecimiento de viveros, domesticación de especies de importancia combustible, establecimiento de parcelas dendroenergéticas.

Las cortinas rompe vientos son una alternativa para la obtención de leña de forma controlada que permite obtener el combustible en una área cercana a la casa de los productores y ayuda a disminuir la presión sobre las zonas forestales. Es recomendable establecer barreras rompe vientos con especies potenciales como combustibles, con capacidad de rebrote como el caso del arbusto *Calliandra calothyrsus*, que establecida a un espaciamiento de 2 x 2, se reporta la obtención de 24 $t.ha^{-1}$ al año de leña (Fierros, 1989).

El cultivo de árboles para la obtención de leña puede ayudar a restablecer la fertilidad del suelo mejorando la calidad de vida en el medio rural, ya que los habitantes de esos lugares prefieren usar leña como combustible porque solo tiene el costo de cortarla a diferencia de otros combustibles por los que tendrían que pagar. Rodríguez y Patiño (1989) plantean el establecimiento de plantaciones para la producción de leña con plantas obtenidas por semilla, de arreglo en hileras, dejando de 2 a 3 m entre plantas.

En la década de los 80 se desarrollaron reglas para la selección de especies combustibles, entre ellas el uso de especies locales, con buena capacidad de rebrote, con alto peso específico, que liberan poco humo, con elevado valor calorífico, de aceptación local y multiusos. Los sistemas agroforestales como se ha hecho en otros países, permiten obtener varios productos, agrícolas, pecuarios, frutales y energéticos. Otro factor clave en el desarrollo de la dendroenergía es el que implica el tipo de tecnología a usar para economizar el recurso; en este caso las estufas ahorradoras de leña que se construyen con materiales regionales a bajo costo, ahorran hasta un 50% en el consumo de leña (Sánchez y Domínguez, 1989).

Como la leña es un producto renovable que quizá seguirá usándose por varios años, debe buscarse la forma de producirla de forma sostenible para optimizar los recursos forestales, recuperar suelos improductivos y abatir los costos de aprovechamiento. Huerta (1989) recomienda el establecimiento de plantaciones piloto que consideren el medio físico y biológico para inferir el comportamiento de diversas especies y determinar cuáles de ellas podemos aprovechar para la obtención de combustibles. Si se seleccionan bien las especies, se produce buena planta en vivero, se aplican micorrizas y

se manejan densidades de plantación adecuadas, se podrán lograr rendimientos significativos con respecto a la producción en los bosques naturales.

2.2. Proceso de combustión y calidad de la madera

Combustión, es la liberación de energía en forma de calor y combustible son las sustancias que al combinarse con el oxígeno desprenden calor. La combustión incluye reacciones físicas y químicas. Es un proceso de óxido-reducción en el cual el combustible es oxidado por el oxígeno y éste es reducido por los constituyentes del combustible. Las principales reacciones de la combustión, ocurren entre el carbono, el oxígeno y el hidrógeno.

La caloría es la unidad de medida de las cantidades de calor producidas por la combustión. Es la cantidad de calor necesaria para hacer variar en 1ºC la temperatura de 1 cm^3 de agua pura. En el caso de los combustibles, el poder calorífico es la cantidad de calorías que produce al quemarse y se expresa en kilocalorías por kilogramo de combustible. La determinación del poder calorífico puede realizarse con un proceso calorimétrico, usando una bomba calorimétrica o con un proceso químico que parte de la composición química elemental de la madera (Patiño, 1989).

La energía liberada por el proceso de combustión puede cuantificarse por su valor calorífico, el cual tiene un valor promedio de 19 MJ/kg para madera completamente seca. Los valores caloríficos prácticos son predominantemente influenciados por el contenido de humedad y en menor proporción por la cantidad de cenizas y extractivos

así como también por el tamaño de material. Las ventajas de la madera como combustible son el bajo contenido de cenizas y azufre (Bravo, 1989).

El poder calorífico de una especie es mayor a menor contenido de humedad, por esta razón se recomienda secar la leña para optimizar su consumo. El proceso de combustión es influenciado por las características físicas y anatómicas de la madera como el peso específico y porcentaje de fibras; si el peso específico es mayor la madera es más compacta, por lo tanto posee un alto contenido de fibras con una pared celular robusta, lo que hace que el poder calorífico sea mayor (Farfán *et al*., 1989).

2.2.1. Especies nativas con potencial dendroenergético

La energización rural debe asociarse al uso racional o eficiente de energía, es decir, que prevea la conservación de la biodiversidad, la recuperación de los recursos naturales degradados y asegurar la disponibilidad del recurso energético a través de los años. Una de las alternativas que se ha propuesto para cumplir con estos objetivos es mediante la domesticación de especies nativas para establecer parcelas dendroenergéticas que permitan obtener la leña de forma sencilla y evitar la presión sobre el bosque.

De acuerdo con Camou (2007), en la Sierra Tarahumara en Chihuahua, las especies que se usan como combustible son: pino (*Pinus arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. chihuahuana*, *P. leiophylla*, *P. engelmann* y *P. cembroidesi*), ciprés (*Cupressus lusitánica*), junípero *(Junipero deppeana*), encino (*Quercus* spp.), madroño (*Arbutus xalapensis*), aile (*Alnus acuminata*), fresno (*Fraxinus undei*) y pingüica (*Arctostaphylos* sp.). En el Cuadro 2 se indican por familia, género y especie.

Cuadro 2. Especies registradas como combustibles (Camou, 2007).

Familia	Género	Especie
CONIFEROPHYTA		
Cupressaceae	Cupressus	*C. lusitánica* Mill.
	Juniperus	*J. deppeana* Steud.
Pinaceae	*Pinus*	*P. arizonica var. arizonica*
		P. ayacahuite brachyptera Shw.
		P. chihuahuana Engelm.
		P. leiophylla
		P. engelmann
		P. cembroidesi
MAGNOLIOPHYTA		
Betulaceae	*Alnus*	*A. acuminata*
		A. arizonica (A. Gray) Sarg.
		A. madrensis
Ericaceae	*Arbutus*	*A. tessellata*
		A. xalapensis H.B.K.
	Arctostaphylos	*A. pungens* Kunth.
Fagaceae	*Quercus*	*Q. coccolobifolia* Trel.
		Q. crassifolia H & B
		Q. chihuahuensis Trel.
		Q. rugosa Neé
		Q. scytophylla Liebm.
		Q. sideroxila H & B
		Q. Tarahumara Spellenb
		Q. viminea Trel.
Oleaceae	*Fraxinus*	*F. uhdei*
		F. velutina Torr.

El mismo autor hace una descripción de los usos por especie, según lo que encontró en las comunidades de la Sierra Tarahumara y se muestran en el Cuadro 3, donde también describe el uso de otros biocombustibles no maderables.

Cuadro 3. Uso de leña y otros combustibles en la Sierra Tarahumara (Camou, 2007).

Nombre común	Familia	Parte usada	Uso especifico
Pino (Ocote)	Pinacea	Tronco, ramas, astillas, piñas	Uso doméstico, herrería y para prender rápido el fuego
Encino	Fagaceae	Tronco, ramas, corteza	Uso doméstico, carbón, ceniza para nixtamal
Madroño	Ericaceae	Tronco, ramas	Uso doméstico
Táscate (Sabino)	Cupressaceae	Tronco, ramas	Uso doméstico, carbón
Fresno	Olaceae	Tronco, ramas	Uso doméstico
Boñiga de vaca			Cocer ollas, quemar cal
Paja			Para prender rápido el fuego
Olotes			Para prender rápido el fuego

En Yanhuitlán, Oaxaca se realizó un inventario para conocer las especies usadas como leña y determinar el volumen disponible, entre las especies más usadas se encuentra el encino (*Quercus* sp.), madroño (*Arbutus xalapensis*), cazahuate (*Ipomoea murucoides*), ocote (*Pinus teocote*), enebro (*Juniperus communis*) y tepozán (*Buddleia cordata*) (Contreras *et al*., 2003).

En el centro de Chiapas, se identificaron 101 especies para uso energético, clasificadas en 80 géneros y 38 familias botánicas; de las cuales, 95 fueron priorizadas con base en criterios de calidad de leña como el potencial calorífico, capacidad de rebrote, velocidad de crecimiento y frecuencia de uso local (Escobar *et al*., 2009). En los altos de Chiapas la especie predominante y con mayor potencial como combustible es el encino (Soares,

2006), el cual es recolectado en el bosque por el 61% de las mujeres, el 7% de ellas compran la leña y el 32% se abastecen de la recolección y la compra.

Una de las especies más estudiadas para la producción de leña es el aile. En México se encuentran las subespecies *Alnus acuminata* y una especie asociada *Alnus jorullensis*, nativa de México y Guatemala (CONAFOR, 2010). Su leña es liviana, arde bien y puede quemarse cuando está verde, el poder calórico de la leña es de 4600 $kcal.kg^{-1}$en madera de 20-50 años y 0.34% de cenizas (CATIE, 1986).

Para el resto de las especies no existen estudios cuantitativos que demuestren la calidad de la madera para su uso como combustible (leña). El estudio de la leña ha sido abordado desde un enfoque cualitativo, tomando en cuenta las preferencias, usos y costumbres de las mujeres que usan la leña como combustible; al respecto Escobar *et al*. (2009) menciona la frecuencia de uso, el conocimiento tradicional del uso de las especies, las actividades que realizan, la época del año y la calidad determinada por la dureza, la cantidad de braza que hace, la cantidad de calor y humo que emite.

2.2.2. Propagación vegetativa o asexual

La propagación vegetativa se define como la reproducción de individuos a partir de partes vegetativas de una planta, porque tienen capacidad de generar raíces y dar origen a nuevas plantas (PNUMA, 2002). Existen algunas especies que no producen semillas viables por lo que la única forma de propagarlas es vegetativamente. Cuando las especies se propagan de forma vegetativa se mantiene la varianza genética aditiva porque existe un gran número de genes favorables que controlan un carácter; también se

mantiene la ganancia genética no aditiva donde se dan interacciones en combinaciones específicas de genes y solo puede transmitirse por propagación vegetativa o por cruzamientos homocigóticos (López *et al*., 2005). Otra de las ventajas de propagar especies vegetativamente es que se obtiene una ganancia genética del 10% mayor que cuando se hace propagación sexual. Además se mantiene el genotipo parental de los genotipos seleccionados o material vegetativo y se reproducen idénticamente formando clones. Debido a las ventajas genéticas de la reproducción asexual, se usa para el establecimiento de huertos semilleros, bancos clónales, para la propagación de especies amenazadas y para propagar plantas seleccionadas a gran escala (PNUMA, 2002; López *et al*., 2005).

Como ejemplo de uso de este tipo de propagación con fines de restauración es en *Parkinsonia aculeata,* especie de usos múltiples de Uruguay y Argentina, de la cual se está haciendo un uso excesivo lo que ocasiona una fuerte presión sobre la vegetación nativa (Abedini, 2005).

2.2.3. Condiciones para la obtención de las estacas

Antes de proceder a la propagación vegetativa, se deben considerar diferentes características de la planta madre como a) control fitosanitario para evitar la incidencia de plagas y enfermedades que reduzcan la calidad de las plantas, b) edad de la planta madre y estado fenológico, c) época del año en que se obtiene el material vegetativo y d) estado nutrimental e hídrico. En las plantas hay presencia de auxinas, citocininas y giberelinas que se trasladan de una parte de la planta a otra, estas hormonas ayudan en la inducción de raíces. La edad de la planta madre, su estado fenológico así como la época

en que se obtiene el material vegetativo influye en la presencia o ausencia de estos compuestos orgánicos. En estudios realizados con plantas de eucalipto, se ha encontrado que las estacas enraizan fácilmente cuando se toman de plantas jóvenes y se hace más difícil su propagación cuando se obtienen de plantas viejas (PNUMA, 2002).

En general, el material adulto de especies leñosas; presenta una elevada cantidad de compuestos fenólicos, que se liberan de los compartimentos celulares en respuesta a un daño físico (por ejemplo, durante la preparación de las estacas). Estos fenoles se oxidan al contacto con el aire, las enzimas peroxidasas o polifenoloxidasas forman quinonas; éstas se polimerizan rápidamente y forman uniones covalentes con las proteínas, ocasionando el cese de la actividad enzimática y la muerte de la estaca. Según Tarragó *et al*. (2000), esta es una de las principales causas que dificultan la propagación asexual de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.).

De acuerdo con Dehgan *et al*. (1989) la época del año en que se obtienen los esquejes, tiene gran influencia sobre la capacidad de enraizamiento, indica que a finales de primavera o principios de verano y antes de que inicie su periodo de floración, es la mejor época para propagar de forma vegetativa *Cletra alnifolia*. Mientras que *Leucothoera cemosa*, enraíza fácilmente sin necesidad de tratamiento hormonal en cualquier época del año, excepto durante el letargo invernal. En general los arbustos nativos de Florida, tienen problemas para enraizar durante la época de floración. El estado hídrico y nutrimental afecta de forma directa la formación de raíces adventicias, cuando se corta material vegetativo de plantas que han estado sometidas a estrés hídrico, se puede generar una embolia gaseosa que origina el marchitamiento de las estacas, y al

no tener las suficientes reservas no pueden enraizar. En algunas especies pequeños periodos de sequía favorecen la acumulación de ácido abcísico y etileno que permiten un aumento en el porcentaje de enraizamiento (López *et al*., 2005).

En plantas madre de especies leñosas se utilizan periodos cortos de encharcamiento para lavar los polifenoles y acumular etileno en las ramas (PNUMA, 2002). El balance hídrico es importante para obtener esquejes turgentes. Diferentes investigaciones han mostrado que los mayores porcentajes de enraizamiento derivan de planta madre en crecimiento juvenil con alto contenido de carbohidratos, indispensables para la actividad metabólica y división celular.

La aplicación de nitrógeno en plantas madre previa a la obtención del material vegetativo, afecta la relación carbono nitrógeno, disminuyendo los carbohidratos de reserva para mantener al esqueje durante el proceso de enraizamiento (López *et al*., 2005).

2.2.4. Características de las estacas

Las estacas son el material vegetativo más utilizado en la propagación de especies con fines de restauración ecológica o aprovechamiento agroforestal. Es necesario que el material tenga una alta concentración de savia para generar los primordios de raíz, que en plantas leñosas pueden originarse en el floema secundario, de los radios vasculares o del cambium. Existen especies donde las raíces ya están preformadas cuando se corta la estaca, como *Sambucus* y *Salix* (PNUMA, 2002). En el Cuadro 4, se resumen las características de las estacas empleadas en diferentes especies vegetales.

Cuadro 4. Condiciones de propagación en diferentes especies nativas

Especie	Material vegetativo	Tratamiento	Fuente
Arbutus unedo (Madroño)	Brotes epicórmicos de árboles de 2 a 3 años de edad, de 5-10 cm x 0.4 a 2.5 cm Ø, se corta durante el otoño.	AIB (24.7 µM)	Gomes *et al*. (2008)
Arbutus unedo (Madroño)	Esquejes de tallos de planta en crecimiento y floración.	AIB (2000 ppm)	Ochoa *et al*. (2008)
Drimys winteri (Canelo)	Esquejes de 15 cm x 1 cm Ø, 3 yemas y 3 pares de hojas de árboles padres de lugares soleados con 10 a 15 años de edad. Ramas del tercio superior.	ANA (dosis no especificada)	Queupumil (2004)
Cedrela balansae, *Toona ciliata*, *Cedrela odorata*	Segmentos basales y medios de 5-10 cm x 0.5-1.0 cm Ø, 4 yemas y 4 hojas de ramas del año, próximas al suelo que brotaban directamente del tronco.	ANA (50, 100 ppm)	Tarnowski *et al*. (2005)
Amburana cearensis (Roble del país)	Estacas de 5-10 cm x 0.5-1 cm Ø; con 4 yemas y un par de hojas de ramas del año próximas al suelo que brotaban directamente del tronco.	ANA (0.3 y 0.4 %)	Tarnowski *et al*. (2005)
Prosopis chilensis (Algarrobo)	Estacas de 10-15 cm x 0.5-1.0 cm Ø, 5 yemas y hojas de ramas de 1 año de edad.	ANA (0.4%)	Tarnowski *et al*. (2005)
Parkinsonia aculeata	Estaquillas de 10 cm x 3 mm de Ø, de brotes juveniles en crecimiento ortotrópico.	AIB (100 ppm), ANA (5 ppm)	Abedini (2005)
Acacia horrida (huaranguillo)	Estacas de 5-10 cm x 1-2 cm Ø, promedio de 3 yemas, defoliadas de ramas del nivel medio de la copa.	Agua de coco (25, 50 y 100%), AIB (50, 100 y 150 ppm)	Pérez *et al.* (2002)
Vaccinium meridionale (Agraz)	Ramas del año de 8 cm de largo con 4 pares de hojas de plantas madre de 5 a 10 años.	AIB (200 ppm) + talco	Castrillón *et al.* (2008)
Buddleia cordata (Tepozán)	Esquejes de hojas	AIA (0.45 a 9.95 µM + Citocininas (2.3 y 4.6 µM)	Estrada *et al*. (2007)
Ilex paraguariensis (Mate)	Esquejes de Plantas de 9 años con 4-6 entrenudos con Ø de 3-5 mm, un par de hojas cercanas al ápice.	AIB (1.5%) + sacarosa (10%)	Tarragó *et al*. (2000)

En especies de difícil enraizamiento como el Agraz (*Vaccinium floribundum*) es necesario dejar un par de hojas como fuente endógena de auxinas que ejercen una acción estimulante sobre la formación de raíces adventicias (Castrillón *et al.,* 2008). En cedro, el meristemo apical puede causar un gradiente de juvenilidad que es inversamente proporcional a la distancia entre la unión raíz-vástago y el meristemo; en la mayoría de los casos, la formación de raíces es más fácil en plantas juveniles que en plantas adultas (Tarnowski y Del Castillo, 2005). Es importante la posición en que se colocan las estaquillas porque regularmente mantienen en su memoria genética sus hábitos de crecimiento, es decir, si las estacas se obtuvieron de ramas laterales, el crecimiento será plagiotrópico u horizontal (Abedini, 2005).

El prendimiento de la estaca está condicionado por una serie de factores interrelacionados: la especie vegetal, el tamaño de la estaca, ubicación de la rama en la copa del árbol, parte de la rama de donde se extrae la estaca, presencia de hojas y brotes. La consideración de estos factores es clave en el éxito de la propagación de la especie en particular.

2.2.5. Respuesta de algunas especies al tratamiento hormonal

El callo es una masa irregular de células parenquimatosas que se forman a partir de células jóvenes del cambium, constituye el primer paso en el proceso de enraizamiento de las estacas. En las plantas hay presencia de hormonas del crecimiento como auxinas, citocininas y giberelinas que se trasladan de una parte de la planta a otra y estas hormonas son las que ayudan a la inducción de raíces. Cuando éstas se encuentran en cantidad insuficiente en el material vegetativo, se precisa de una aplicación externa para

acelerar el proceso de propagación. Las sustancias utilizadas como promotores de enraizamiento incluye auxinas (ácido indol butírico AIB, ácido naftalenacético ANA, ácido indol acético AIA), citocininas (kinetina y zeatina) y giberelinas (ácido giberélico). Las especies vegetales responden de diferente forma al tipo de hormona y la concentración empleada, pero en general, las plantas leñosas requieren de un estímulo hormonal para su prendimiento en comparación con las especies arbustivas.

Especies como el tepozán (*Buddleia cordata*) requieren de una mezcla de hormonas como el ácido indol acético (AIA) y citocininas para promover la formación de callos y raíces (Estrada *et al*., 2007), con lo cual se confirma que las auxinas sintéticas y citocininas pueden ser excelentes auxiliares para la propagación vegetativa.

En ensayos de enraizamiento realizados por Ochoa *et al*. (2008) en madroño (*Arbutus unedo*), especie con baja capacidad de enraizamiento cuando se le intenta propagar de forma vegetativa, probaron el efecto del ácido indol butírico (AIB) y de paclobutrazol (PBZ) en dosis de 0 a 8000 ppm de AIB y de PBZ en esquejes de tallos en crecimiento y floración. Este último no tuvo efecto sobre la promoción de raíces en los esquejes apicales de madroño, pero con 2000 ppm de AIB se observó el mayor porcentaje de enraizamiento, más raíces y mayor longitud de las mismas. La línea de tendencia mostró que mayores concentraciones de hormona no mejoraron el resultado y además repercuten negativamente sobre el aspecto económico de la multiplicación. Con la técnica de micropropagación en la misma especie vegetal, Gomes *et al*. (2009) encontraron que el AIB en el medio de cultivo en dosis de 9.8 a 24.7 µM por 6 días o 9.8

µM de AIB por 15 segundos, se promovió la formación de callos y se incrementó el porcentaje de enraizamiento.

Dado que es importante la presencia de azúcares en el prendimiento de estacas, se han utilizado hormonas como el AIB mezclada con sacarosa (15% de AIB+10% de sacarosa + 10% de Captan como desinfectante) en estacas de Yerba mate (*Ilex paraguariensis*) con excelentes resultados en su propagación, pero con menos éxito con la mezcla de ácido naftalenacético (ANA) (1.5% ANA+10% de sacarosa+10% de Captan) (Tarragó *et al*., 2000). El enraizamiento con auxinas aplicadas en pasta a base de talco industrial y en previo remojo son más efectivas debido al mayor tiempo de contacto de la estaca con la hormona (Tarrago *et al*., 2000; Castrillón *et al*., 2008).

A pesar del uso de sustancias sintéticas para promover la reproducción vegetativa, especies como el cedro (*Cedrela balansae*) no responden a estos estímulos. Tarnowski *et al*. (2005), ensayaron AIB en dosis de 1000, 2000 y 4000 ppm, en estacas de diferentes especies de cedro y en todos los tratamientos las estacas murieron sin generar raíces.

La facilidad o dificultad de la propagación vegetativa del olivo depende del genotipo, de la cantidad de azucares solubles, concentración de compuestos fenólicos en las hojas y del contenido de almidón en los esquejes. Aslmoshtaghi *et al*. (2010) observaron que en olivo la disponibilidad y movilidad de los carbohidratos hacia la base de los esquejes es el factor más relacionado con el enraizamiento. Comprobaron que altos contenidos de carbohidratos como fructosa y glucosa, así como la relación carbono-nitrógeno durante el periodo de crecimiento, dan origen a esquejes que tienen una alta capacidad de

enraizamiento. En esta especie, la cantidad de azucares solubles y el contenido de almidón van disminuyendo de forma gradual hasta el final del experimento. El contenido de compuestos fenólicos varía a través de los meses, alcanzando su máxima concentración a los 120 días.

2.3. Sustratos para enraizamiento

Un sustrato se define como un soporte físico que almacena agua y nutrientes para el desarrollo de las plantas, con propiedades físicas y químicas que pueden ser analizadas en un laboratorio (Valenzuela, 2006). Las propiedades físicas son el espacio poroso total, capacidad de retención de agua, espacio poroso con aire, densidad aparente y densidad real. Si el espacio poroso total es bajo, existe poco espacio para el desarrollo de las raíces y tanto el agua como el oxígeno están restringidos. La capacidad de retención de agua está determinada por el riego y la temperatura, si en invierno se aplica un riego pesado, se pueden tener problemas de pudrición, pero si en verano se aplica una lámina de riego escasa, se pueden presentar problemas de desecación. Las propiedades químicas manifiestan la disponibilidad de nutrientes si el pH es menor de 5.0 o mayor de 7.5, ya que los nutrientes se encuentran en formas no disponibles, mientras que la conductividad eléctrica indica la carga nutrimental así como la calidad del agua.

Es importante conocer las propiedades físicas y químicas de los sustratos para dar un manejo adecuado al vivero y para obtener plantas de calidad. López *et al*. (2005) recomiendan el uso de sustratos opacos, firmes y homogéneos con un pH 6, con capacidad de retención de agua de 30-35% y 25% de capacidad de aireación, libre de

enfermedades y es importante que se coloque en contenedores con orificios o rejilla, para facilitar la aireación y la poda natural de raíces.

Los sustratos usados con el fin de enraizar estacas afectan directamente el porcentaje de enraizamiento y la calidad del sistema de raíces formado. Por lo tanto, la calidad de las raíces está en relación con el tipo de material usado. La arena es el medio más usado para el enraizamiento de estacas debido a su bajo costo y facilidad de obtención, pero no tiene buena capacidad de retención de agua, por lo que obliga a efectuar riegos frecuentes. Otros materiales utilizados son musgo y mezcla de arena con turba. Cuando se usa arena las raíces son largas, sin ramificación, gruesas y quebradizas; con la mezcla, de arena, turba y perlita, las raíces son más ramificadas, delgadas y flexibles. Entre otras características el sustrato debe ser movible, de fácil manejo, para facilitar la plantación de los esquejes y para removerlos con un mínimo daño de raíces, así como una buena retención de humedad, buen drenaje y estéril (Quepumil, 2004).

En una investigación realizada en la región Noreste de Entre Ríos en Argentina, Valenzuela *et al.* (2006) encontraron que los sustratos más usados para el enraizamiento de estacas son la corteza de pino, turba y suelo. Los viveristas que cuentan con mayor tecnología no incluyen el suelo como material componente del sustrato. El uso de los diferentes materiales está determinado por la capacidad de compra en el caso de usar los comerciales, por la disponibilidad de materiales en la región y por el conocimiento adquirido en el manejo de ciertos materiales; aunque no siempre se logra obtener la calidad deseada, debido a que, los viveristas no acostumbran analizar las propiedades físicas y químicas de los materiales que utilizan en la composición del sustrato. Por lo

tanto, no siempre disponen de la información necesaria para una correcta formulación del mismo ni para la adopción de prácticas de manejo adecuadas.

Gerding *et al.* (1996), concluyeron que la calidad de los sustratos como medio de enraizamiento depende de sus características propias; aunque también es muy importante la capacidad de enraizamiento de la especie que se propague en ellos. En su investigación usaron mezclas de cortezas de especies nativas como *Laurelia philippiana*, *Aextoxicon punctatum* y *Nothofagus obliqua*, con aserrín de pino, suelo, piedra pomex, arena de rio y turba; para enraizar dos especies endémicas de Chile *Podocarpus nubigena*, y *Eucryphia cordifolia*. La corteza composteada de especies nativas resultó ser una alternativa para formar sustratos para el enraizamiento de estacas de tallo. En *Acacia horrida*, otra especie nativa de Chile, determinaron como el mejor sustrato para su enraizamiento el formado por 4 porciones de humus, 1 porción de tierra y 1 porción de arena; lo que se atribuyó a los nutrientes aportados por el humus (Pérez *et al.*, 2002). Para la óptima utilización del sustrato es necesario considerar los requerimientos de las especies que se desea propagar.

Es importante disponer de un sustrato poroso porque las células de las estaquillas al estarse multiplicando rápidamente necesitan abundante oxigeno; cada material presenta diferencias en la capacidad para retener aire y humedad. Otra característica importante que determina la sobrevivencia de las estacas es la humedad en el sustrato, factor que puede controlarse, conociendo los requerimientos de la especie así como las características de drenaje que presenta el sustrato, debido a que excesos o falta de humedad son limitantes en el desarrollo. La temperatura es otro factor importante a

considerar, debe fluctuar entre los 20 y 25 ºC, para que tenga influencia sobre la actividad biológica del suelo, si es menor de 7.5 ºC se interrumpe el desarrollo de las raíces y si es mayor a 30ºC pueden limitar gravemente su crecimiento y quemar la base de las estacas (Quepumil, 2004).

2.3.1. Tratamientos del sustrato

Gerding *et al.* (1994) usaron urea para favorecer la descomposición de las cortezas de especies nativas, tamizó a 2 mm las cortezas, el aserrín y el suelo; la piedra pomex se tamizó a 5mm para favorecer el espacio poroso. Finalmente se hizo la mezcla en las proporciones deseadas y se desinfectaron antes de hacer la siembra de esquejes para evitar enfermedades.

Quepumil (2004) usó turba con alta capacidad de retención de agua y una mezcla de tierra con arena en proporción 1:1; la arena se esterilizó colocándola en baño maría durante 30 minutos y la tierra con captan al 80% en dosis de 1.8 g kg^{-1}.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta de los materiales utilizados en esta investigación se realizó en la comunidad Las Casitas, municipio de Xichú en el estado de Guanajuato, la cual pertenece a la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda del mismo estado (Figura 1). La región se ubica en las coordenadas 21° 18′ 00” de Latitud Norte y a los 100° 03′ 37” de Longitud Oeste, a una altura de 2550 m. El clima es un C (w_0) (w), del tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, el más seco de los templados. Con una precipitación media anual de 500 a 600 mm, frecuencia de heladas de 10 a 40 días distribuidas en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, con presencia de granizadas de 1 a 2 veces al año. El tipo de vegetación corresponde a un bosque de pino-encino (CONANP, 2005).



Figura 1. Ambiente donde se colecto el material vegetativo.

3.1. Identificación de especies nativas con potencial dendroenergético

Para obtener información de las especies más usadas como leña en la comunidad, se usó la metodología de dialogo semi-estructurado y recorrido propuesta por Geilfus (1997). Se estableció una guía de entrevista dirigida al tema de la leña y se eligió entrevistar a

las amas de casa por ser éstas las encargadas del proceso de selección, colecta y uso del combustible. El recorrido se realizó en el área de bosque cercano a los solares de las amas de casa donde se realizó el dialogo semi-estructurado, para conocer las especies usadas como combustible.

3.2. Determinación de la calidad de leña

Para determinar la calidad de la leña de las especies identificadas se obtuvieron muestras de encino (*Quercus rugosa*), escoba (*Baccaris conferta*), madroño (*Arbutus glandulosa*) y tepozán (*Buddleia cordata*) en las cocinas de las amas de casa. La muestra se seccionó en dos partes, una para determinar densidad y la otra para medir el calor de combustión (Figura 2).



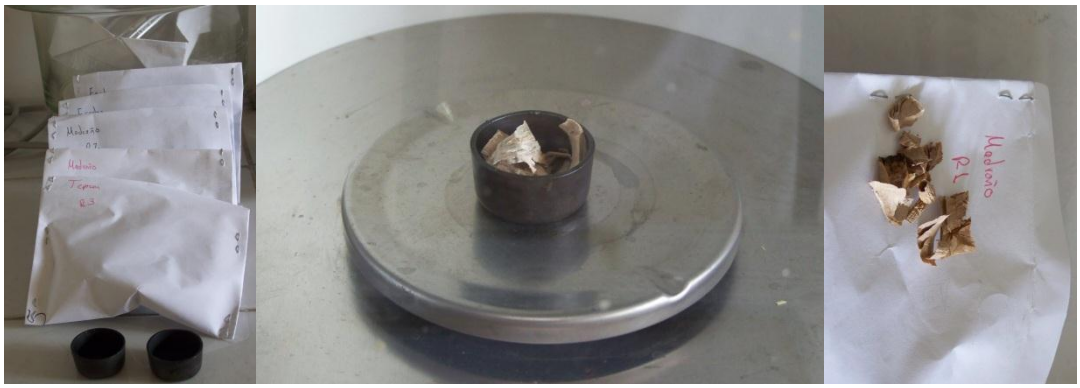
Figura 2. Material para determinar calidad de leña

Para determinar la densidad básica de la madera se pesaron trozos de la muestra de entre 20 y 70 g, que se introdujeron en una probeta con 150 mL de agua y se midió el desplazamiento del volumen de agua. Se aplicó la fórmula de densidad básica $S = \frac{P}{V}$ dónde: S=Densidad básica, P= Peso en gramos, V= Volumen en centímetros cúbicos. Se hicieron tres repeticiones por cada muestra. Para la determinación del calor de

combustión se siguió la técnica descrita por Soto *et al*. (2008), que consiste en moler las muestras y quemarlas en un calorímetro isoperibólico, de la manera que se indica a continuación:



Figura 3. Muestra de escoba (*Baccaris conferta*) y calorimetro Isoperibólico.


Figura 4. Pesado de muestras de madera.

De cada especie se pesaron 0.5 g de muestra de madera y se hicieron 3 repeticiones (Figuras 3 y 4). La muestra pesada se colocó en el dispositivo de la tapa de la cámara de combustión y se agregó 10 cm de alambre para iniciar la combustión (Figura 5). La muestra se colocó dentro de la bomba de oxígeno, la cual se cerró herméticamente y se añadió oxígeno (Figura 6). La bomba se colocó dentro del calorímetro isoperibólico y se introdujeron los datos de la muestra al software del equipo para la lectura del resultado (Figura 7). Para medir las calorías de los ácidos desprendidos durante el proceso de

combustión, al agua sobrante se le agregó anaranjado de metilo y se tituló con carbonato de sodio (Figura 8).

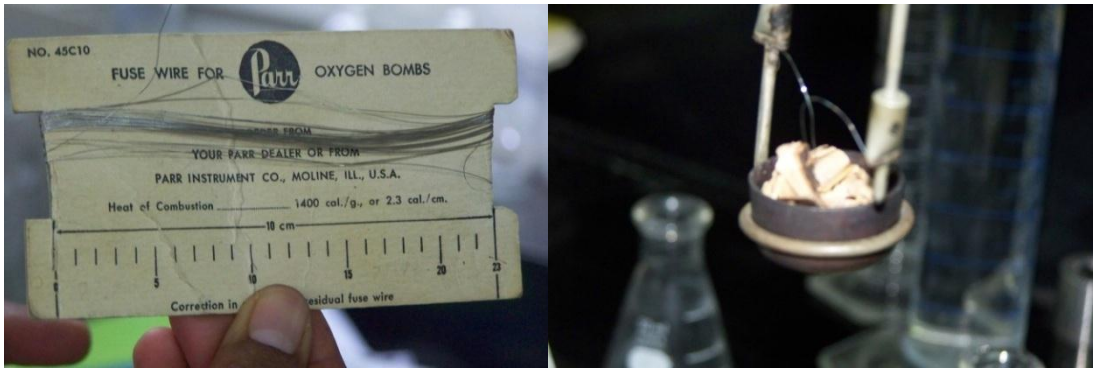


Figura 5. Colocación del alambre en el dispositivo para iniciar la combustión.


Figura 6. Bomba de oxígeno donde se realiza el proceso de combustión


Figura 7. Colocación de la bomba de oxígeno y sofware del equipo



Figura 8. Titulación del agua resultante de la combustión

Los cálculos se realizaron usando la siguiente fórmula:

$$Hc = \frac{EE + \Delta t + \text{℮}1 - \text{℮}2}{m}$$

Dónde:

Hc=Calor de combustión

EE= Energía equivalente (Cal °C^{-1})

Δt= Incremento de temperatura (°C)

℮1= 2.3 x alambre quemado (cm) =Cal (Cal cm^{-1})

℮2= ácidos (Cal)

m= peso de la muestra

3.3. Efecto de auxinas en esquejes de otoño

Como sustrato se utilizó una mezcla de peat moss y agrolita en una proporción 3:1 v/v, que se colocó en tubetes de 250 cm^3. Se aplicó un riego a saturación antes de colocar los esquejes, la temperatura fue mantenida durante la fase experimental en un valor que oscilo entre los 11.5 °C y 24 °C y la humedad relativa a 43 %, aproximadamente.

3.3.1. Colecta de esquejes

La colecta de esquejes se realizó el 29 de octubre de 2010, se empleó la técnica de transecto propuesta por Geilfus (1997), la cual inició en la comunidad La Lagunita, hasta llegar a Las Casitas. Se colectaron muestras de 12 árboles de madroño (*Arbutus glandulosa*) seleccionados con base en sus buenas características de vigor y sanidad, cada árbol fue georeferenciado (Figura 9).



Figura 9. Arboles de madroño (*Arbutus glandulosa*) para el muestreo de esquejes.

De cada árbol se cortaron 10 estacas de 50 cm de longitud, cada estaca se dividió en 3 partes (basal, medio y apical), en total se obtuvieron 120 esquejes basales de 17.24 cm de longitud y 1.47 cm de diámetro, 120 esquejes medios de 17.48 cm de longitud y 1.21 cm de diámetro y 120 esquejes apicales de 17.4 cm de longitud y 0.88 cm de diámetro. A cada tipo de material vegetativo se les cortó 0.5 cm en la base para hacer el análisis nutrimental. Los esquejes se sumergieron en una solución de Promyl® 50% para

desinfectar y evitar la presencia de enfermedades. Se envolvieron en periódico y se transportaron en hieleras para conservarlos frescos hasta su establecimiento.

3.3.2. Hormonas de enraizamiento

Para inducir el enraizamiento se usó ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftalenacético (ANA), a una concentración de 2000 ppm y 5 ppm, respectivamente. Para facilitar la aplicación se mezcló con talco industrial REASOL®, Promyl 50% para evitar la presencia de enfermedades durante el tiempo de enraizamiento (ver proceso de preparación en Anexo 3). En la pasta que se formó se sumergieron los esquejes previamente etiquetados, posteriormente se colocaron en los tubetes, se mantuvieron a temperatura que osciló entre los 11.5 y 24 °C. Tres semanas después se registró el inicio de brotación y se hizo un conteo semanal durante diez semanas para verificar la presencia de raíces o callos y la supervivencia de los esquejes.

3.3.3. Diseño de tratamientos y experimental

Se usaron 360 esquejes de 12 árboles de madroño. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0 auxinas, 2000 ppm de AIB, 5 ppm de ANA y la combinación de 2000 ppm de AIB + 5 ppm de ANA. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar (Figura 10).

El diseño de tratamientos correspondió a un jerárquico o anidado y se analizó usando el siguiente modelo: $Yijkl = \mu + \alpha i + \beta j(i) + \delta k + \sigma l + Eijkl$. Dónde:

Y_{ijkl}= La variable respuesta del i-ésimo árbol, en el j-ésimo esqueje, el k-ésimo tratamiento y la l-ésima repetición.

μ= Media general del experimento

α_i= Efecto del i-ésimo árbol

$\beta_{j(i)}$= Efecto del j-ésimo esqueje anidado en el i-ésimo árbol

δ_k= Efecto del k-ésimo tratamiento

σ_l= Efecto de la l-ésima repetición

E_{ijkl}= Error experimental asociado al i-ésimo árbol, j-ésimo esqueje, k-ésimo tratamiento y l-ésima repetición.



Figura 10. Acomodo de tratamientos en el diseño experimental

3.4. Efecto de auxinas en esquejes de primavera

La siembra se realizó en charolas con 25 tubetes de 250 cm^3, como sustrato se usó peat moss y agrolita en una proporción 1:1 v/v, colocando un esqueje por tubete. Se colocaron dentro de una cámara de enraizamiento con temperatura que osciló entre los 20 °C y 27 °C y una humedad relativa de 70 %.

3.4.1. Colecta de esquejes

La colecta de material vegetativo se realizó el día 15 de abril de 2011, en la comunidad de Las Casitas, Xichú, Guanajuato.



Figura 11. Colecta del material de primavera.

El material se colectó de seis árboles muestreados en el primer experimento, tomando en cuenta tres árboles con buena capacidad de brotación y tres árboles que no produjeron ningún brote. Las estacas se cortaron por la mañana para evitar desecación, se desinfectaron en una solución de 12 g L^{-1} de Promyl 50% P.H, se colocaron en hojas de papel periódico y geles congelados para mantener fresco el material durante el transporte (Figura 11). Una vez en el invernadero, los esquejes se dejaron en contenedores con agua fresca durante toda la noche. Se obtuvieron esquejes medios de 10 cm de longitud x 1.5 cm de diámetro, y apicales de 12 cm de longitud x 0.8 cm de diámetro; a ambos tipos de material se les cortó 0.5 cm en la base para hacer el análisis nutrimental. A los esquejes medios se les aplicó una capa de cera en el ápice, para sellar el tejido y evitar deshidratación y pudrición. A los esquejes apicales se les dejaron de 2 a 4 hojas.

3.4.2. Hormonas de enraizamiento

Los tratamientos consistieron en la aplicación de auxinas para inducir el enraizamiento: (1) 2000 ppm de AIB, (2) 8000 ppm K-IBA, (3) 2000 ppm de AIB + 8000 ppm de K-IBA. El tratamiento con 2000 ppm de AIB se tomó como testigo y se aplicó en forma de pasta para asegurar su permanencia en el esqueje, el tratamiento con 8000 ppm de K-IBA se aplicó pre remojando las estacas durante 12 segundos en la solución, para el tratamiento de AIB + K-IBA se pre remojaron los esquejes durante 12 segundos en la solución de K-IBA y posteriormente se impregnaron en la pasta de talco con AIB; inmediatamente después se sembraron. A las nueve semanas se evaluó el experimento, verificando la sobrevivencia de estacas y la diferenciación de raíces.

3.4.3. Diseño de tratamientos y experimental

Como unidad experimental se usaron 360 esquejes de 6 árboles de madroño a los cuales se aplicaron los tratamientos de forma aleatoria. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 2000 ppm de AIB, 8000 ppm de K-IBA y la combinación de 2000 ppm de AIB + 8000 ppm de K-IBA. Se usó un diseño de tratamientos jerárquico o anidado y se analizó usando el mismo modelo que en el experimento anterior.

3.4.4. Determinación de la concentración nutrimental

Del material de reserva (0.5 cm) de la base de cada esqueje, se realizó una mezcla compuesta por tipo de esqueje por árbol para determinar la concentración nutrimental. El nitrógeno total fue determinado por el procedimiento Kjeldhl (Bremner, 1965) mediante digestión de las muestras con una mezcla de ácido sulfúrico con ácido salicílico y

evaluado en destilación por arrastre de vapor. Para la determinación de fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc, las muestras vegetales fueron tratadas con una mezcla diácida de ácido nítrico/perclórico en una relación 2:1. El fósforo fue medido por el método del fosfovanamolibdato (Jackson, 1964) y las concentraciones de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn se determinaron con el espectrofotómetro de absorción atómica GBC.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de especies nativas y calidad de leña

Las especies más demandadas para su consumo en leña en la comunidad Las Casitas son: encino (*Quercus rugosa*), escoba (*Baccaris conferta*), tepozán (*Buddleia cordata*) y madroño (*Arbutus glandulosa*); de ésta última quedan pocos ejemplares en el bosque (Figura 12), con inminente peligro de extinción. Debido a la escasez de árboles de madroño, actualmente la presión por extracción de leña se está dirigiendo hacia tepozán y escoba, con la consecuente alteración del ecosistema.



Figura 12. Ejemplares de *Arbutus glandulosa*, especie de difícil propagación.

Al evaluar la calidad de la leña en forma cuantitativa (Cuadro 5) a partir de los criterios de densidad, calor de combustión (Moreno *et al.*, 1989; Sánchez *et al.*, 1989), contenido de humedad (Farfán, 1989; Donoso, 2006), cenizas (Espinosa *et al*., 1989) y resinas (Patiño, 1989) se encontró que el madroño y el encino presentan la mayor densidad (1.65 ± 0.15 y 1.57 ± 0.17 g cm^{-3}, respectivamente) en comparación con la escoba y el tepozán (1.21 ± 0.07 y 1.10 ± 0.02 g cm^{-3}, respectivamente); el calor de combustión

(kcal·g^{-1}) de los materiales combustibles fue en el siguiente orden descendente: tepozán (4.31)<encino (4.26)<escoba (4.19)<madroño (4.17). Para *Acacia retinoides*, especie altamente recomendada por Espinosa *et al*. (1989) para plantaciones dendroenergéticas reportan un calor de combustión de 4.68 kcal g^{-1}; Moreno *et al*. (1989) en especies que consideran de buena calidad para leña en la Sierra Norte de Puebla, éstas presentan valores de 0.57 g cm^{-3} en cuanto a densidad y de 5.5 kcal g^{-1} para calor de combustión; en el Alto Balsas Poblano, Sánchez *et al*. (1989) estimaron un valor de densidad de 0.86 g cm^{-3} y 5.47 kcal g^{-1} en *Quercus glaucoides* especie de Bosque Tropical Caducifolio. En Costa Rica el *Alnus acuminata,* es ampliamente utilizado para la extracción de leña, su calor de combustión es de 4.6 kcal g^{-1} (CATIE, 1986).

El contenido de humedad en la leña es un criterio importante a tomar en cuenta, ya que a menor contenido de humedad se incrementa su poder calorífico. Un contenido de humedad del 10% se considera excelente para tener un buen rendimiento del combustible (Patiño, 1989) mientras que (Donoso, 2006) menciona que éste debe estar debajo de 25%. Para las especies en estudio se obtuvieron contenidos de humedad inferiores al 10%, sugiriendo un buen rendimiento para los fogones de la comunidad. La cantidad de cenizas que forma una especie se considera importante por el grado de limpieza que se debe tener con las estufas, es decir, entre mayor producción de cenizas, mayor la frecuencia con que se debe retirar este material para mejorar el proceso de combustión. Las especies con mayor contenido de cenizas fueron el encino (2.34 %) y el madroño (1.79 %).

Cuando la leña tiene alta densidad, bajo porcentaje de humedad y el calor de combustión es bajo, su rendimiento como braza ardiendo es de mayor duración, cumpliéndose el criterio de calidad de las amas de casa (Alanís *et al*., 1989; Escobar *et al*., 2009). En el caso del tepozán, al tener una baja densidad, un bajo porcentaje de humedad y un alto calor de combustión se quema de forma rápida liberando gran cantidad de humo sin formar brazas, por tal razón no se considera como leña de buena calidad. Las resinas son otro parámetro que contribuye a aumentar el calor de combustión, en particular a nivel de prendimiento, el madroño y el encino presentaron el mayor contenido de resinas, esto es, en promedio, 4 veces superior al tepozán y la escoba (Patiño, 1989).

Cuadro 5. Calidad de leña de especies nativas de la Sierra Gorda de Guanajuato.

Muestra	**Densidad**	**Calor de Combustión**	**Humedad**	**Cenizas**	**Resinas**
	g cm^{-3}	**kcal g^{-1}**	**----------%----------**		
Encino (*Quercus rugosa*)	1.57 ±0.17[z]	4.26±0.08[z]	9.72±0.34[z]	2.34±0.35[z]	2.29±0.23[z]
Escoba (*Baccaris conferta*)	1.21 ±0.07	4.19±0.03	9.46±0.15	1.43±0.03	0.44±0.11
Madroño (*Arbutus glandulosa*)	1.65±0.15	4.17±0.04	9.04±0.60	1.79±0.27	2.57±1.17
Tepozán (*Buddleia cordata*)	1.10±0.02	4.31±0.05	8.87±0.16	1.08±0.09	0.67±0.16

[z] Desviación estándar

La correlación entre las variables de calidad determinadas, mostró que existe relación entre la densidad y el calor de combustión, así como el contenido de humedad y la cantidad de cenizas; la primera relación debe considerarse para la selección de las especies a propagar y la segunda para el manejo de la leña (Cuadro 6). El contenido de resinas no se relacionó con ninguno de los parámetros determinados.

Cuadro 6. Correlación entre las variables determinantes de la calidad de leña

	Densidad	Combustión	Humedad	Cenizas	Resinas
Densidad	1	0.741	-0.231	-0.049	-0.127
		0.001[z]	*0.388*	*0.855*	*0.637*
Combustión		1	-0.377	-0.476	-0.253
			0.149	*0.062*	*0.343*
Humedad			1	0.714	-0.532
				0.001[z]	*0.033*
Cenizas				1	-0.05
					0.853
Resinas					1

[z] Significancia estadística del coeficiente de correlación.

4.2. Inducción del enraizamiento en esquejes de otoño

A los 21 días de establecido el experimento, inició la emisión de brotes epicórmicos en los esquejes de madroño (Figura 13), a las 10 semanas se realizó la evaluación final del experimento y se encontró que no hubo diferenciación de raíces ni sobrevivencia bajo las condiciones en que se realizó este experimento (Cuadro 7).



Figura 12. Desarrollo de brotes epicórmicos en esquejes de madroño.

Gomes y Canhoto, (2009) utilizaron esquejes colectados en otoño con dimensiones de 5 a 7 cm de diámetro para producir brotes epicórmicos que posteriormente usaron como explantes para la micropropagación. Al parecer en esta etapa el madroño tiene un mayor contenido de giberelinas que de auxinas en sus reservas, lo que permite el desarrollo vegetativo y no enraizamiento. Por otra parte, a la tercera semana de establecido el experimento, los brotes comenzaron a necrosarse lo cual se atribuye a la oxidación de fenoles, considerada como una de las causas principales que dificultan la propagación asexual de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) según Tarragó *et al.* (2000), de algunos cultivares de uva (Satisha *et al*., 2008) y del olivo (Aslmoshtaghi *et al*., 2010).

Cuadro 7. Sobrevivencia y enraizamiento de esquejes de madroño en otoño

Tratamiento	**Sobrevivencia**	**Enraizamiento**
	---------- %	**----------**
Sin auxinas	0	0
2000 ppm de AIB	0	0
5 ppm de ANA	0	0
2000 ppm de AIB + 5 ppm de ANA	0	0

El prendimiento de la estaca está condicionado por una serie de factores interrelacionados: la especie vegetal, el tamaño de la estaca, ubicación de la rama en la copa del árbol, parte de la rama de donde se extrae la estaca, presencia de hojas y brotes. La consideración de estos factores es clave en el éxito de la propagación de la especie en particular (Hartmann y Kester, 1983; Dehgan *et al*., 1989; PNUMA, 2002).

4.3. Inducción del enraizamiento en esquejes de primavera

La falta de diferenciación de raíces en los esquejes de otoño motivó a plantear el objetivo de probar la capacidad de enraizamiento en esquejes de primavera. A las 9 semanas de establecido el experimento se realizó la evaluación, encontrándose que bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento, el material vegetativo de primavera no emitió raíces y la sobrevivencia fue nula (Cuadro 8, Figura 14).

La época del año en que se obtienen los esquejes, tiene gran influencia sobre la capacidad de enraizamiento de arbustos nativos. De acuerdo con Dehgan *et al.* (1989), finales de primavera y principios de verano es la mejor época para propagar de forma vegetativa *Cletra alnifolia*, antes de que inicie su periodo de floración. Mientras que *Leucothoera cemosa*, enraíza fácilmente sin necesidad de tratamiento hormonal en cualquier época del año, excepto durante el letargo invernal.

Cuadro 8. Sobrevivencia y enraizamiento de esquejes de madroño en primavera

Tratamiento	Sobrevivencia	Enraizamiento
	---------- % ----------	
2000 ppm de AIB	0	0
8000 ppm de K-IBA	0	0
2000 ppm de AIB + 8000 ppm de K-IBA	0	0

Es importante mencionar que tanto el año 2010 como 2011, fueron años atípicos en cuanto al régimen de lluvias y de temperaturas; estos factores ambientales además de generar estrés en las plantas, provocan desfasamiento de las etapas fenológicas debido a una síntesis hormonal diferencial (Mora *et al.*, 2002). La mayoría de las especies se asocian con un intervalo térmico, de humedad y de radiación en relación con su

fenología y fisiología; que al verse alterado modifica totalmente dichos procesos (Lorente, 2004). Las etapas fenológicas de primavera son particularmente sensibles a la temperatura, el calentamiento global que se ha experimentado en las últimas décadas se ha asociado con un adelanto de 6.3 días en promedio en las etapas fenológicas en esa época; mientras que en otoño se retrasan en promedio 4.5 días (Alvarado *et al*., 2002).



Figura 13. Esquejes de madroño al final del experimento.

De acuerdo con otras investigaciones, factores como baja cantidad de reservas, nula reacción de la especie al tratamiento con auxinas, la densidad de la madera y la presencia de polifenoles pudieron influir en la falta de diferenciación de raíces de los esquejes de madroño. Un comportamientos similar lo presentan *Cedrela odorata* y *Arbutus unedo* (Tarnowski *et al*., 2005; Ochoa *et al*., 2008).

4.4. Concentración nutrimental en esquejes de madroño

De acuerdo a las concentraciones nutrimentales determinadas en esquejes de otoño (basales, medios y apicales) y en esquejes de primavera (medios y apicales) en madroño

(Cuadro 9 y 10, respectivamente), el análisis estadístico no mostró diferencias significativas por posición de esqueje ni por época de colecta, lo cual podría indicar que son otros factores los que están involucrados en la inducción de raíces de esta especie.

Cuadro 9. Concentración nutrimental de esquejes de madroño en otoño.

Esqueje	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B	Cu
	%						mg kg^{-1}				
Esquejes que emitieron brotes											
Apical	0.41	0.07	0.44	0.57	0.07	0.06	74.7	161.2	38.3	43.3	27.7
Medio	0.39	0.06	0.37	0.50	0.07	0.05	50.7	163.9	34.9	30.2	57.3
Basal	0.34	0.05	0.35	0.44	0.07	0.04	41.7	152.0	31.0	36.3	53.3
Promedio	0.39	0.05	0.38	0.50	0.07	0.05	55.7	159.1	34.7	36.6	46.1
Pr>F*	0.51	0.09	0.16	0.54	0.75	0.12	0.5	0.9	0.4	0.3	0.9
C V	13.56	27.30	21.19	40.17	25.13	35.50	82.6	29.6	24.4	36.6	219.8
Esquejes que no emitieron brotes											
Apical	0.42	0.08	0.49	0.46	0.07	0.06	67.3	152.1	30.3	36.5	97.1
Medio	0.36	0.07	0.48	0.59	0.10	0.05	70.5	209.3	38.2	35.4	69.1
Basal	0.36	0.07	0.40	0.43	0.07	0.04	79.7	173.4	26.9	25.2	90.8
Promedio	0.38	0.07	0.46	0.49	0.08	0.05	72.5	178.3	31.8	32.4	85.7
Pr>F*	0.04	0.42	0.08	0.38	0.31	0.00	0.9	0.4	0.3	0.1	0.9
C V	10.74	37.13	15.78	41.31	52.01	21.3	65.9	41.64	36.8	31.17	135.6

Pr>F* valor que indica la significancia estadística en cada columna
C V Coeficiente de variación

En la literatura se menciona que el estado nutrimental de la planta madre debe ser adecuado para que ésta pueda acumular sustancias de reserva que permitan al esqueje sobrevivir durante el periodo de enraizamiento (Hartmann y Kester, 1983; PNUMA, 2002; López *et al*., 2005). Autores como Mills y Jones (1996), Boardman *et al*. (1997) mencionan que la concentración de nutrientes cambia acorde a la época del año y, para muchas especies forestales, la diferencia de concentración entre estaciones es alta. Según Nambiar (1984) el N, P y K son elementos móviles que se encuentran en

concentraciones bajas en la época seca, los elementos como Ca y Al que son poco móviles se acumulan en los tejidos durante la época lluviosa.

Por otra parte, se observó que la concentración de N, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn fue mayor en los esquejes de primavera que emitieron brotes que en los de otoño (Cuadros 9 y 10). Montagniní *et al*. (2004) indican que la concentración nutrimental varía según la especie y el órgano; en (*Jacaranda copaia*, *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense*), la concentración ocurre en el orden siguiente: follaje> ramas>troncos.

Cuadro 10. Concentración nutrimental de esquejes de madroño en primavera.

Esqueje	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B	Cu
	%						ppm				
Esquejes que emitieron brotes											
Apical	0.46	0.05	0.20	0.67	0.12	0.07	73.8	181.8	44.3	30.2	7.3
Medio	0.43	0.06	0.28	0.86	0.09	0.05	57.5	200.4	39.0	26.2	4.0
Promedio	0.45	0.05	0.24	0.77	0.11	0.06	65.7	191.1	41.7	28.2	5.7
Pr>F*	0.29	0.43	0.52	0.25	0.14	0.02	0.2	0.8	0.68	0.6	0.3
C V	7.70	25.71	58.48	24.64	17.22	13.99	18.0	44.0	36.0	33.4	62.6
Esquejes que no emitieron brotes											
Apical	0.47	0.05	0.48	0.57	0.10	0.07	79.3	196.7	34.4	18.4	6.4
Medio	0.42	0.06	0.34	0.46	0.09	0.04	66.6	203.0	33.8	33.2	2.8
Promedio	0.45	0.05	0.4	0.5	0.1	0.05	73.0	199.9	34.1	25.8	4.6
Pr>F*	0.03	0.29	0.07	0.52	0.54	0.06	0.69	0.92	0.91	0.15	0.22
C V	4.41	22.56	16.66	36.27	32.16	24.2	50.02	38.64	20.52	40.18	68.15

Pr>F* valor que indica la significancia estadística en cada columna
C V Coeficiente de variación

Afif *et al*. (2009) encontraron que en las hojas de *Pinus pinaster* se registraban las concentraciones más altas de N, P, K^+ y Mg^{2+}, en tanto que las ramas con diámetro inferior a 0.5 cm mostraban niveles altos de K y Ca, razón por lo que es común que se

recomiende dejar algunas hojas en los esquejes como órganos de reserva. En limón persa (*Citrus latifolia*) la mayor concentración de nitrógeno se presenta en ramas y troncos dependiendo también del tipo de suelo en donde se desarrolla el cultivo (Contreras *et al*., 2007).

No obstante que en la literatura se menciona que el estado nutrimental de la planta madre y en todo caso de la estaca o esqueje, debe ser adecuado para que éste pueda sobrevivir durante el periodo de enraizamiento, son nulas las investigaciones que reporten la asociación entre la concentración nutrimental en el material vegetativo y la inducción al enraizamiento.

Los resultados obtenidos en esta investigación así como la realizada por otros autores, confirman que el madroño es una especie de difícil propagación por vía asexual. La importancia de asegurar la estabilidad genética de la especie en el ecosistema obliga a continuar estudiando los factores que determinan su respuesta a la propagación por este procedimiento a fin de considerarlos.

5. CONCLUSIONES

Las especies más demandadas para su consumo en leña en la comunidad Las Casitas, en la Sierra Gorda de Guanajuato, en orden de importancia son: madroño (*Arbutus glandulosa*), encino (*Quercus rugosa*), tepozán (*Buddleia cordata*) y escoba (*Baccaris conferta*), de estas especies, el madroño y el encino presentan la mejor calidad de leña en términos de calor de combustión, densidad, contenido de humedad y cenizas.

Para las condiciones en que se llevó a cabo la presente investigación, los tratamientos hormonales a partir de ácido indolbutírico, ácido naftalenacético y sales de potasio del ácido indolbutírico y su combinación, no promovieron el enraizamiento de esquejes de *Arbutus glandulosa*, independientemente de la posición del esqueje, de la época de colecta y de la concentración nutrimental, lo que manifiesta la dificultad de esta especie para su propagación asexual.

6. LITERATURA CITADA

ABEDINI, W. 2005. **Propagación vegetativa de *Parkinsonia aculeata* L. por estaquillado**. Quebracho 12: 23-33.

AFIF K., E. E. CANGA L., J.E. OLIVEIRA P., J.J. GORGOSO V. Y M.A. CÁMARA O. 2009. **Crecimiento anual en volumen y estado nutricional de *Pinus Pinaster***. Ciencia Forestal en México. 34 (106): 107-126.

AGUILAR R., S. J. BARAJAS M. Y J.D. TEJERO D. 2000. **Anatomía de maderas de México: Especies de un Bosque Mesófilo de Montaña**. Instituto de Biología, UNAM. 91 p.

ALVARADO M., A., R. FOROUGHBAKHCH., E. JURADO Y A. ROCHA. 2002. **El cambio climático y la fenología de las plantas**. Ciencia UANL 5 (4): 493-500.

ASLMOSHTAGHI E. y A. SHAHSAVAR R. 2010. **Endogenous Soluble Sugars, Starch Contents and Phenolic Compounds in Easy and Difficult-to-Root Olive Cuttings**. Biology Environmental 4 (11): 83-86.

BEST, G. 1994. **Energización para un desarrollo rural sostenible**. *In*: Los Sistemas Dendroenergéticos Optimizados Para el Desarrollo Rural y la Protección Ambiental. Departamento de Montes FAO, Roma. 171 p.

BOARDMAN, R., R. N. CROMER., M. J. LAMBERT Y M. J. WEBB. 1997. **Forest Plantations**. *In*: Plant analysis and interpretation manual. CSIRO Publishing. Australia. p. 1-2.

BRAVO G., L.R. 1989. **Procesos de degradación térmica de la madera**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 348-362.

BREMMER J. M. 1965. **Total nitrogen**. In: C. Black (ed). Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Ed. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.

CAMOU G., A. 2007. **La leña: el recurso olvidado. Una experiencia de participación social y cambio tecnológico en dos micro-regiones de la Sierra Tarahumara**. Consultoría Técnica Comunitaria, A.C., Chihuahua, México. 64 p.

CATIE. 1986. **Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América**. Informe técnico No. 86. Turrialba, Costa Rica. 232 p.

CONTRERAS M., E., G. ALMAGUER V., J.R. ESPINOZA E., R. MALDONADO T. y E. ÁLVAREZ S. 2007. **Distribución de materia seca y nutrimentos en árboles de limón persa (Citrus latifolia) en Veracruz, México**. Revista Chapingo serie Horticultura 13 (1): 77-85.

CONTRERAS H., J. R., V. VOLKE H., J.L. OROPEZA M., C. RODRÍGUEZ F., T. MARTÍNEZ S. Y A. MARTÍNEZ G. 2003. **Disponibilidad y uso de leña en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca**. TERRA Latinoamericana 21: 437-445.

CORNELIUS J., P., L. UGARTE-GUERRA J. Y A. SIMONS J. 2002. **El papel de la domesticación de árboles agroforestales** *In*: Desarrollo con protección ambiental. World Agroforestry Centre, ICRAF. Lima, Perú. 3 p.

CONANP. 2005. **Estudio previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida "Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato"**. 281 p.

CONAFOR. 2010. **Ficha técnica de *Alnus acuminata***. Sistema Nacional de Información Forestal. 6 p.

DEHGAN B., M. GOOCH., F. ALMIRA and M. KANE. 1989. **Vegetative propagation of Florida native plants: III. Shrubs**. Florida State Horticultural Society 102: 254-260.

DONOSO H., C. 2006. **Criterios a considerar para la licitación de leña en instituciones públicas**. Sistema Nacional de Certificación de Leña. Chile. 16 p.

ESCOBAR O., J.A. NIÑOS C., N. RAMÍREZ M., C. YÉPEZ P. 2009. **Diagnóstico participativo del uso y abastecimiento de leña en Chiapas, México**. Ra Ximhai 5 (2): 201-223.

ESPINOSA A., J., G. VERA C., F. CARRILLO A. y C. RODRIGUEZ F. 1989. **Evaluación de plantaciones de *Acacia retinoides* con fines de producción de leña**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 27-38.

ESTRADA M. E., E. J. VERNON., M. RODRÍGUEZ. y F. CRUZ. 2007. **Inducción de callo en *Buddleia cordata***. In: XII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Departamento de Biotecnología, UAM-Iztapalapa, México. 1 p.

FARFÁN V., E., A. SÁNCHEZ V. y M. MORENO S. 1989. **Estudio de cuatro especies de valor dendroenergético del alto Balsas Poblano**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 391-396.

FIERROS G., A. 1989. **Las cortinas rompe vientos como una fuente continúa de dendroenergía**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 57-64.

GEILFUS, F. 1997. **80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnostico, planificación, monitoreo y evaluación**. IICA. SAGAR, México. 208 p.

GERDING V., M.E. HERMOSILLA YR. GREZ. 1996. **Sustratos de corteza compostada para la propagación vegetativa de estacas de tallo de *Podocarpus nubigena,* y *Eucryphia cordifolia***. Bosque 17 (2): 57-64.

GOMES, F. y J. M. CANHOTO. 2008. **Micropropagation of strawberry tree (*Arbutus unedo*) from adult plants**. **In Vitro Cellular** & **Developmental Biology Plant** 45: 72-82.

HARTMANN, H. T. y D.E. KESTER. 1983. **Plant propagation**. Prentice Hall. USA. 317 p.

HUERTA C., M. 1989. **Especies para la producción de energía y sus alternativas en la primavera, Jalisco**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 337-347.

JACKSON, M. L. 1964. **Análisis químico de suelos**. Trad. De la 1ª Edición norteamericana por José Beltom. Barcelona, España.

KRAMER, P.J. y T. T. KOZLOWSKI. 1979. **Physiology of woody plants**. Academic Press. Inc. USA. 811 p.

LÓPEZ P., D y N. CARAZO G. 2005. **La producción de esquejes**. Horticultura 5: 22-29.

LORENTE I., D. GAMO., J.L. GÓMEZ., R. SANTOS., L. FLORES., A. CAMACHO., L. GALINDO y J. NAVARRO. 2004. **Los efectos biológicos del cambio climático**. Ecosistemas 13 (1): 103-110.

MÁRQUEZ L., M.A., E. JURADO y S. GONZÁLEZ E. 2006. **Algunos aspectos de la biología de la manzanita (*Arctostaphylos pungens*) y su papel en el desplazamiento de bosques templados por chaparrales**. Ciencia UANL 9 (1): 57-58.

MARSHALL, J. D. 1985. **Carbohydrate status as measure of seedling quality**. *In*: Proceedings: Evaluating Seedling Quality. Forest Research laboratory, Oregon State University, Corvallis. p. 49-58.

MILLS, H. A. y J. B. JONES. 1996. **Plant analysis handbook II**. Micro Macro Publishing. Athens, Georgia, USA. 180 p.

MONTAGNINI, F., F. ALICE y M. MONTERO. 2004. **Sostenibilidad de las plantaciones forestales: ciclaje de nutrientes y efectos de las especies sobre la fertilidad de los suelos**. Agronomía Costarricense. 13 p.

MORA M., J., J. GAMBOA P. y R. ELIZONDO M. 2002. **Guía para el cultivo de mango (*Mangifera indica*) en Costa Rica**. Ministerio de agricultura y ganadería, San José, Costa Rica. 80 p.

MORENO C., A. M y M. S. GARAY M. 1989. **Uso de plantas para combustible en dos comunidades nahuas de Cuetzalan, Puebla**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 8-15.

NAMBIAR E., K.S. 1984. **Plantation forests: their scope and a perspective on plantation**. *In*: Nutrition of plantation forests. Academic. London. p. 1-15.

NORMAN, B. 2009. **La FAO en México Más de 60 años de colaboración**. Ed. Agro análisis. FAO, México. 77 p.

OCHOA, J., A.V. TINOCO., J.J. MARTÍNEZ S., M.J. VICENTE., E. CONESA., J.A. FERNÁNDEZ y S. BAÑÓN. 2008. **Enraizamiento de esquejes apicales de madroño mediante reguladores del crecimiento**. *In*: I Simposio Iberoamericano-IV Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental. Pontevedra, España.

PATIÑO V., F. 1989. **La madera como combustible**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 109-127.

PÉREZ C., B.R., C. REYNEL R. y M. MANTA N. 2002. **Dendrología y propagación vegetativa de *Acacia horrida* (huaranguillo) mediante estacas inducidas en tres sustancias enraízantes, usando tres sustratos**. Ecología Aplicada 1: 9-12.

PNUMA, 2002. **Manual técnico de plantaciones forestales**. Cajamarca Perú, 117 p.

POINCELOT, R. P. 1979. **Horticulture. Principles and practical applications**. Prentice-Hall. New Jersey. 340 p.

QUEUPUMIL M., H. 2004. **Evaluación de dos sistemas de riego y dos sustratos, en la propagación de *Drimys winter***. Tesis profesional. Universidad Católica de Tecomuco. Chile. 53 p.

RODRÍGUEZ P., A. y F. PATIÑO V. 1989. **Manejo y aprovechamiento de especies para leña en plantaciones forestales**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 128-136.

SÁNCHEZ V., A. y F. A. DOMÍNGUEZ A. 1989. **Principales especies aprovechadas para leña en el alto Balsas Poblano**. *In*: Primera reunión nacional sobre Dendroenergía. Chapingo, México. p. 137-153.

SÁNCHEZ S., G. 2008. **Estudio regional forestal "Asociación Regional de Silvicultores de la Mixteca A.C."**. Consultores ambientales S.A de C.V. Puebla, México. 38 p.

SATISHA, J., P. RAVEENDRAN and N. D. ROKADE. 2008. **Changes in Polyphenol Oxidase Activity During Rooting of Hardwood Cuttings in Three Grape Rootstocks Under Indian Conditions**. S. Afr. J. Enol. Vitic. 29 (2): 94-97.

SOARES, D. 2006. **Género, leña y sostenibilidad: el caso de una comunidad de los altos de Chiapas**. Economía, Sociedad y Territorio 6: 151-175.

SOTO, G. y M. NÚÑEZ. 2008**. Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de *Pinus Radiata***. Maderas. Ciencia y tecnología. 10 (2): 129-137.

TARNOWSKI, C.G. 2005. **Ensayo de enraizamiento de estacas de distintas especies de cedro**. Estación Experimental de Cultivos Tropicales. Jujuy. 7 p.

TARRAGÓ, J.R., P.A. SANSBERRO y L.A. MROGINSKI. 2000. **Uso de sustancias antioxidantes en el enraizamiento de estacas de yerba mate**. Facultad de Ciencias Agrarias. Instituto de Botánica del Nordeste, Argentina. 4 p.

TERRONES R., del R. L., C. GONZÁLEZ S. y S.A. RÍOS R. 2004. **Arbustivas nativas de uso múltiple en Guanajuato**. Libro técnico No. 2, INIFAP; Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., México.

UACM. 2010. **Ficha técnica del Tepozán (*Buddleia cordata*)**. Universidad Autónoma de la ciudad de México. 1 p.

VALENZUELA O. y C. GALLARDO. 2006. **Noreste de Entre Ríos. Características de los sustratos utilizados por los viveros forestales**. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Argentina. 3 p.

VARGAS V., M. 2007. **Programa Forestal para flora en estado de conservación proyecto 'Tranque de relaves any de compañía minera Linderos'**. Coquimbo, Chile. 13 p.

ANEXO 1. Cuestionario para conocer las preferencias de uso de la leña

¿En dónde cortan la leña?

¿Qué arboles usan?

¿Por qué esos árboles?

¿Cuál le gusta más?

¿Cuál hace más humo? ¿Cuál dura más?

¿Para qué usa la leña?

¿Cuánta leña usa por día?

¿Compra leña? ¿Usa gas?

¿Cuánto cuesta una carga de leña?

¿Tiene estufa LORENA?

ANEXO 2. Ubicación geográfica de las plantas madre

Árbol	Latitud	Longitud	Altura
1	21° 18' 07.81"	100° 07' 55.27"	2512 m
2	21° 18' 08.13"	100° 07' 55.28"	2511 m
3	21° 18' 01.38"	100° 07' 58.24"	2508 m
4	21° 17' 33.89"	100° 08' 37.93"	2591 m
5	21° 17' 38.67"	100° 08' 39.42"	2591 m
6	21° 17' 54.86"	100° 08' 45.57"	2585 m
7	21° 17' 57.21"	100° 08' 44.55"	2585 m
8	21° 18' 03.77"	100° 08' 40.27"	2557 m
9	21° 18' 20.08"	100° 08' 32.64"	2543 m
10	21° 18' 37.24"	100° 08' 28.47"	2508 m
11	21° 18' 36.27"	100° 08' 28.62"	2514 m
12	21° 18' 35.28"	100° 08' 26.67"	2514 m

ANEXO 3. Preparación de auxinas para la aplicación de tratamientos

Ácido Indolbutírico (AIB)

- 150 g de talco supremo REASOL®
- 5 g de Promil 50% P.H
- 0.2 g de AIB (ácido indol butírico)
- 100 ml. de agua destilada

Ácido naftalenacético (ANA)

- 150 g de talco supremo REASOL®
- 5 g de Promil 50% P.H
- 0.05g de ANA (ácido naftalenacético)
- 100 ml. de agua destilada

AIB + ANA

- 150 g de talco supremo REASOL®
- 5 g de Promil 50% P.H
- 0.2g de AIB (ácido indol butirico) + 0.05g de ANA (ácido naftalenacético)
- 100 ml de agua destilada