

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 31 NÚM. 99 112 p. MÉXICO, D. F. ENE-JUN 2006

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN

CONTENIDO	Pág.
EDITORIAL	3
PLANTACIONES FORESTALES EN LA SIERRA PURHÉPECHA DE MICHOACÁN J. Jesús García Magaña, H. Jesús Muñoz Flores, Trinidad Sáenz Reyes y J. Jesús García Sánchez	7
VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS SEMILLAS DE <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. DE DOS PROCEDENCIAS EN MÉXICO Teresita del Niño Jesús Marín Hernández, Pilar de la Garza López de Lara, Efraín Velasco Bautista, Felipe Nepamuceno Martínez, Hugo Ramírez Maldonado y Manuel E. Ovando Cruz	27
CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES DE SOTOL (<i>Dasyllirion leiophyllum</i> Engelm. ex Trelease y <i>D. sereke</i> Bogler) FERTILIZADAS CON NITRÓGENO Y FÓSFORO Jorge Vega Cruz, Alicia Melgoza Castillo y J. Santos Sierra Tristán	55
TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DE DOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE MADERA DE <i>Populus</i> sp. EN CASTILLA-LEÓN (ESPAÑA) Eduardo López Senespleda, Yolanda Ambrosio Torrijos y Santiago Vignote Peña	73
TRATAMIENTO PREGERMINATIVO Y PREPARACIÓN DE SEMILLA PARA SIEMBRA DE <i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq. Javier Alarcón Segura, Ladislao Martínez Serna y Salvador Castro Zavala	93
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA <i>CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO</i>	103
CONSEJO ARBITRAL	107
CONSEJO EDITORIAL	111

PLANTACIONES FORESTALES EN LA SIERRA PURHÉPECHA DE MICHOACÁN

J. Jesús García Magaña¹, H. Jesús Muñoz Flores¹,
Trinidad Sáenz Reyes¹ y J. Jesús García Sánchez¹

RESUMEN

El estado de Michoacán tiene una gran extensión de bosques de clima templado-frío y selvas tropicales bajas y medianas, con una superficie arbolada de 2.2 millones ha que aún se conserva, no obstante que en los últimos 20 años se han perdido más de 700 mil ha. Entre las zonas forestales más importantes destaca la Sierra Purhépecha, con un área estimada de 680 mil ha y que está ubicada en el sector centro-occidente de la entidad. Los principales problemas ambientales en la región derivados de la pérdida de la cubierta forestal, son: la deforestación calculada en 119,615 ha (17.60%), disminución de la biodiversidad, pérdida de hábitat y desaparición de especies faunísticas, escasa calidad de las masas forestales remanentes, erosión de suelos, agotamiento de manantiales, reducción del caudal hídrico en las áreas de escurrimiento, contaminación por el uso de agroquímicos y por desechos urbanos, industriales y agrícolas; cambio de uso del suelo, avance de la frontera agrícola y la fragmentación de bosques. Ante esta situación, el establecimiento de plantaciones forestales comerciales se plantea como una estrategia para restaurar las grandes extensiones que acusan ya severos problemas ecológicos; por lo tanto, el objetivo del presente ensayo consistió en analizar algunos aspectos ambientales, técnicos, económicos y sociales para futuros proyectos en esta región.

Palabras clave: Deforestación, Michoacán, plantaciones forestales, *Pinus* spp., reforestación, Sierra Purhépecha.

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002.

Fecha de aceptación: 28 de junio de 2006.

¹ Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP, Correo-e: muñoz.jesus@inifap.gob.mx

ABSTRACT

The State of Michoacan has a broad area of temperate cold forests as well as medium height tropical rain forests and tropical dry forests that, as a whole, cover 2.2 million ha that still exist, in spite of a 700 thousand ha loss during the last 20 years. One of the most important forests belong to the "Sierra Purhépecha" which has 680,000 ha and is located in the Central-West part of the state. The main environmental problems that have come from the loss of treeland are: deforestation that has affected 119, 615 ha (17.60 per cent of the region); biodiversity and habitat loss; wildlife decrease; low quality of the remaining woods; soil erosion; water spring exhaustion; hydric flow reduction; water pollution from agrochemicals as well as from urban and industrial debris; change in land use, advance of the agriculture borders, and forest land fragmentation. Thus, commercial forest plantations can be a strategy to restore the territories that have severe ecological problems; the purpose of this paper is to analyze some environmental, technical, economic and social aspects in order to carry out forest plantations projects in this region.

Key words: Deforestation, Michoacan, forest plantations, *Pinus* spp., reforestation, Sierra Purhépecha.

INTRODUCCIÓN

La desaparición de vegetación en grandes extensiones es un problema mundial y México no es ajeno a esa situación, como lo indica la pérdida de 42.7 millones ha arboladas. En 1950, las áreas impactadas se estimaron en 20.2 millones ha; durante el periodo 1950-1999 se perdieron 22.5 millones ha; el promedio anual de 500 mil ha de bosques tropicales y templados en las décadas de 1950 a 1970, y una disminución en el primer lustro de los años 90 de 300 mil ha (Varela, 1998) (Cuadro 1).

La extensión territorial aproximada del estado de Michoacán es de 5.986 millones ha, sobre la cual los factores de disturbio han ejercido un efecto negativo en el suelo; por ejemplo, la superficie con riesgo de erosión se cuantifica en 3.366 millones ha (57% del total de la entidad). De ellas, 2.777 millones están catalogadas como de alto riesgo de erosión, 0.575 millones como de riesgo medio y en 0.014 millones como de bajo riesgo. Las zonas forestales ocupan 4.2 millones ha, de las cuales se estima que 1.3 millones, que representan 31% del área forestal, presentan disturbio, mientras que las zonas arboladas en proceso de fragmentación cubren 0.228 millones ha. Para la última década del siglo XX, la deforestación se calculaba entre 30,000 a 40,000 ha/año (SARH, 1992a), cifra que seguramente ha cambiado hasta la fecha.

Cuadro 1. Deforestación de México hasta fines del siglo XX
(millones de hectáreas).

Periodo	Superficie arbolada	Deforestación	
		Total	Anual
Original a 1950	98.0 - 77.8	20.2	---
1950 - 1970	77.8 - 67.8	10.0	0.5
1970 - 1980	67.8 - 60.8	7.0	0.7
1980 - 1990	60.8 - 56.8	4.0	0.4
1990 - 1995	56.8 - 55.3	1.5	0.3
Total		42.7	

Fuente: Varela (1998).

Generalidades de la Sierra Purhépecha, Michoacán

La Sierra Purhépecha ocupa 680 mil ha en el sector centro-occidente de la entidad. Sus principales problemas ambientales son: la deforestación de 119,615 ha (17.6% de la superficie regional), con la consecuente erosión genética; disminución de la biodiversidad, pérdida de hábitat y desaparición de especies faunísticas; escasa calidad de las masas forestales remanentes, erosión de suelos; agotamiento de manantiales, reducción del caudal hídrico en las áreas de escurrimiento, disminución de los mantos acuíferos, reducción del aforo en zonas de descarga; contaminación por el uso de agroquímicos y por los desechos urbanos, industriales y agrícolas; cambio de uso del suelo; avance de la frontera agrícola; fragmentación de bosques; modificaciones del clima regional y otros de tipo social. Actualmente, debido a los factores mencionados, por lo menos 15 comunidades de la Sierra han agotado sus recursos forestales aprovechables.

Localización y superficie

La Sierra Purhépecha se localiza entre los 19° 10' y 19° 47' de latitud norte y los 101° 50' y 102° 30' de longitud oeste; las coordenadas del punto medio corresponden a los 19° 30' 00" de latitud norte y 102° 00' 00" de longitud oeste.

La población calculada de la zona constaba de 614,841 habitantes, ubicada en 17 municipios, con una densidad promedio de 90.3 habitantes por km² (INEGI, 1997) (Figura 1).



Figura 1. Localización de la Sierra Purhépecha, Michoacán, México.

Altitud y principales elevaciones

La altitud de la sierra es variable, pues su intervalo abarca de los 1,600 a los 3,750 m; la última corresponde a la mayor elevación regional representada por el Pico de Tancitaro, aunque sobresalen los cerros de Patamban con 3,250 msnm; Quinceo con 3,000 msnm; Angahuan con 3,200 msnm; La Virgen con 2,750 msnm; El Tecolote con 2,500 msnm y El Capén con 3,000 msnm (Bello, 1993).

Fisiografía

La topografía del lugar es accidentada y está conformada por elevaciones volcánicas, mesetas, bajos y zonas lacustres; los valles más importantes son: Paracho, Pichátaro, Sevina, San Juan Tumbio, Nahuatzen, Angahuan, Zacán,

Capacuáro, San Felipe de los Herreros, Nurío, Corupo y Santa Cruz Tanaco. Desde el punto de vista fisiográfico, limita al norte con la cañada de los 11 Pueblos y el Valle de Zamora, al sur con Tacámbaro y Peribán, al oriente con la Cuenca de Pátzcuaro y al oeste con el Valle de Los Reyes (Bello, 1993).

Hidrología

En la región hay dos grandes lagos, Pátzcuaro y Zirahuén, y son alimentados por escurrimientos de las montañas aledañas. Los arroyos de la Sierra Purhépecha ubicados por arriba de los 1,700 msnm son efímeros e intermitentes y escurren después de las lluvias; más abajo, a los 1,600 msnm se localizan varios ríos o arroyos permanentes. Los ríos Cupatitzio, Tepalcatepec, San Pedro, El Marqués, La Parota, El Duero y Arroyo Las Cruces constituyen los principales afluentes (Bello, 1993; INEGI, 1997).

Suelos

El material edáfico es de origen volcánico formado a partir de cenizas, rocas basálticas, tobas, brecha y andesitas; sobresalen las siguientes unidades: los Andosoles (vítrico, húmico, mólico y ócrico), Luvisoles, Acrisoles, Litosoles, Regosoles y Vertisoles. Del total, 67% son suelos profundos, en algunos casos con grava o rocas, 25% son suelos delgados y en una menor proporción, son someros (Bello, 1993; INEGI, 1997).

Clima

Se identifican cuatro variantes: el templado que ocupa cerca de 60% del área, distribuido en la parte norte, centro y este; el semicálido que abarca alrededor de 20% y se localiza en el centro, este y oeste; los climas seco y semisecho que cubren 4% de la Sierra y se distribuyen en la parte sur. La temperatura media anual comprende un intervalo de 9 a 21°C y los meses más calurosos son mayo y junio con 21°C en promedio. La época de lluvias abarca de junio a septiembre y la precipitación varía de 650 a 1,692 mm, en función de la localidad. Las fórmulas climáticas más representativas son las siguientes: C(m), A(C), BS₀, y BS₁ (Anguiano *et al.*, 2003).

Vegetación

Los principales tipos de vegetación en la región son los bosques de pino, oyamel, pino-oyamel, pino-encino y bosque mesófilo de montaña. A continuación se citan las especies predominantes: *Abies religiosa* (HBK.) Schlechtld. *et* Cham., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* Lamb., *P. douglasiana* Martínez, *P. michoacana* Martínez, *P. michoacana* var. *cornuta* Martínez, *P. ayacahuite* var. *veitchii* Shaw, *P. lawsonii* Roezl., *P. oocarpa* Martínez, *P. leiophylla* Benth., *P. teocote* Schlechtld. *et* Cham., *P. rudis* Endl. y *P. pringlei* Shaw (SDAF, 1995).

Entre los taxa de hoja ancha se distinguen *Tilia mexicana* Schlechtld., *Cornus disciflora* DC., *Arbutus xalapensis* HBK., *Alnus firmifolia* Fern., *Ternstroemia pringlei* Standley, *Clethra mexicana* A. DC., *Ilex toluhana* Hemsl., *Garrya laurifolia* Hartw., *Symplocos prionophylla* Hemsl., *Carpinus caroliniana* Walt, *Quercus castanea* Née, *Q. obtusata* Humb. et Bonpl., *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. candicans* Née, *Q. rugosa* Née y *Q. crassipes* Humb. et Bonpl. (SDAF, 1995).

Industria instalada

En la década anterior la capacidad industrial instalada estaba consignada entre 1,500 y 1,700 empresas; de ellas, sólo 918 están registradas y conforman 37.6% del total en el estado, y los municipios con mayor presencia son Uruapan (33.3%), con más del 13% Paracho, Cherán y Nahuatzen. La industria maderera la componen aserraderos de sierras-cintas (64.30%) en los que se elaboran, cajas para empaque de aguacate, melón y limón fundamentalmente, con una producción anual de casi 12 millones, a partir de materia prima de procedencia tanto legal, como ilegal (SDAF, 1995). Los talleres artesanales (32.20%) se concentran en Paracho, Cherán, Nahuatzen, Charapan y Tingambato; es importante señalar que en el primero, la población dedicada a la fabricación de artesanías es de alrededor de ocho mil habitantes (SARH, 1992b; INEGI, 1997).

Los aserraderos y talleres utilizan de 65 a 70% del volumen total aprovechado de madera, las carpinterías de 10 a 12%, los talleres de torno menos de 2% y el remanente se destina a otras actividades.

Existe una alta demanda de madera para leña combustible con fines domésticos y para la producción de tabique, con un volumen estimado de 50 mil m³ rollo anual. En esos procesos se utilizan principalmente las especies de pino, encino, madroño y aile; otra forma de usar la madera de *Quercus* es como carbón, para lo cual se emplean aproximadamente 2,500 m³ rollo por año (SDAF, 1995).

El producto no maderable de mayor importancia en la Sierra Purhépecha es la resina de pino, ya que se extrae en 39 mil 872 ha, aproximadamente (32% de la superficie estatal en resinación), con un volumen autorizado de 4,541 ton/año, 26.9% de lo aprovechado en la entidad. Del total regional, el municipio de Nuevo Parangaricutiro aporta 25%, Ziracuaretiro 24% y Tingambato 13.80%. Para la transformación de resina de pino se cuenta con cinco destiladoras, tres en el municipio de Uruapan, una en Nuevo San Juan Parangaricutiro y otra en Cherán (SDAF, 1995).

La recolecta de semilla de pino adquirió relevancia durante la segunda mitad de la década de los 90; dicha actividad la realizan los habitantes de la Sierra y recolectores contratados *ex professo*. En ambos casos es evidente la falta de asesoría para optimizar su trabajo, así como el beneficio y comercialización del

producto. La importancia de este aprovechamiento se refleja en la selección de rodales para la obtención exclusiva de semilla, por ejemplo: en La Palma, Municipio de Los Reyes, los comuneros han destinado áreas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* para ese fin, ya que les generan ingresos económicos importantes (SDAF, 1995).

Situación de las plantaciones forestales

En México se han establecido plantaciones forestales orientadas a la protección de superficies degradadas, preferentemente son pocas las de tipo comercial; entre ellas destacan las de San Luis Potosí con especies del género *Eucalyptus*, dedicadas a producir madera para la elaboración de tableros aglomerados y las de *Pinus caribaea* Morelet en La Sabana, Oaxaca, cuyo propósito es obtener materia prima para celulosa (Cuadro 2).

El estado de Michoacán es una de las tres entidades del país donde se ha tenido una mayor actividad en plantaciones forestales de protección y recuperación, pues durante el periodo de 1928 a 1986 se establecieron casi 40 mil ha, principalmente con taxa del género *Pinus*, *Eucalyptus* y *Cupressus*. La reforestación de algunas superficies pequeñas datan de 1928 y el ritmo de plantaciones a gran escala se acentuó a partir de 1960, hasta alcanzar su máximo anual en 1973, fecha en la que la Comisión Forestal del Estado de Michoacán logró plantar 3,336 ha en diversos puntos de la entidad, incluyendo la Sierra Purhépecha (Muñoz, 1997).

La mayor parte de las reforestaciones se hicieron en terrenos degradados con la finalidad de recuperar suelos y proteger cuencas hidrológicas, por lo que muy pocas pueden considerarse aptas para producción comercial. Además, la baja fertilidad de los suelos, una inadecuada selección de las especies y procedencias, la mala calidad de la planta producida en los viveros y la insuficiente preparación del sitio de plantación, han resultado en poca productividad, pues son comunes incrementos anuales de 2-5 m³, cuando podrían ser de 8-20 m³ según el taxón y la calidad de estación; un elemento adicional ha sido la supervivencia de las plántulas al año siguiente de su establecimiento, misma que es de tan sólo 38% (Sáenz y Lindig, 2004). En relación con lo anterior, de las 40 mil ha plantadas, únicamente se lograron 12 mil, y muchas de ellas ya no existen debido a la tala clandestina y a los incendios, entre otros factores de disturbio (COFOM, 2003a).

Desde el inicio del presente siglo se le ha dado un fuerte impulso económico a las actividades semejantes, con la participación de entidades públicas y organizaciones privadas, entre las que destaca el Programa Nacional de Reforestación (PRONARE), que durante 2002 invirtió en la propagación de 23.4 millones de ejemplares y la plantación sobre 15,229 mil ha (Cuadro 3).

Cuadro 2. Proyectos de plantaciones comerciales en México.

Empresa o grupo	Especie(s)	Superficie (ha)
Fibracel	<i>Eucalyptus punctata</i> DC <i>E. camaldulensis</i> Dehnh. <i>E. urophylla</i> S.T. Blake	8,000
Mexicali	<i>Eucalyptus</i> spp.	10,000
Ponderosa Chihuahua	<i>Pinus duranguensis</i> Martínez <i>P. engelmanni</i> Carr. <i>P. arizonica</i> Engelm. <i>P. ayacahuite</i> C. A. Ehrenb.	20,000
Fapatux- Pipsa La Sabana	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> Barr. et Golf	10,000
Simpson-Veracruz	<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maid <i>Gmelina arborea</i> Roxb.	800
Sociedad Cooperativa Cerro de Contepec	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Swietenia macrophylla</i> King	1,886
Planfosur	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake <i>E. grandis</i> Hill ex Maid	6,416
Socama	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Swietenia macrophylla</i> King <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) F. Miranda	2,313

Fuentes: Subsecretaría Forestal (1992); SEMARNAP (1998).

Cuadro 3. Resultados del PRONARE en el estado de Michoacán en el año 2002.

Dependencia	Superficie (ha)	Producción de planta
Comisión Forestal del Estado de Michoacán	9,501	15,049,883
Comisión Nacional Forestal	115	240,000
Organizaciones sociales	2,252	3,603,400
Secretaría de la Defensa	3,361	3,688,100
Reforestación Urbana y Suburbana (Cercos vivos)	-----	916,332
Unidades de Manejo Forestal	2,841	3,445,339
Secretaría de Desarrollo Social	820	280,000
Total	18,890	27,223,054

Fuente: Quiñónez (2003).

Los logros obtenidos han sido insuficientes para revertir los efectos de la erosión provocada por diversos factores de disturbio; en respuesta, dentro del Programa Estatal de Reforestación se consideró necesario reforzar las estrategias de operación mediante varias acciones, entre las que resaltan el suministro de germoplasma forestal de excelentes condiciones y acorde a las características específicas de los predios por reforestar, mejorar las técnicas de producción en vivero para incrementar la calidad de la planta y aplicar un programa de investigación paralelo que se traduzca en mejores resultados (Quiñónez, 2003).

En el 2003 el Gobierno de Michoacán firmó un acuerdo de colaboración con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), que incluye la promoción conjunta para el establecimiento y desarrollo de plantaciones forestales comerciales, procurando que los recursos destinados beneficien a los ejidos, comunidades y pequeños propietarios.

Con este propósito, la CONAFOR opera el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales (PRODEPLAN) mientras que el Gobierno estatal puso en marcha el Programa de Plantaciones Forestales Comerciales de Michoacán (PROPLANMI). En ese mismo año se apoyaron 80 proyectos aprobados por la federación, en una superficie de 13,073 ha y 18.3 millones de plantas, que representó un monto asignado de 90.4 millones de pesos. Las especies utilizadas correspondieron al género *Pinus*, principalmente *P. pseudostrobus* en 69%; 24% a *Cedrela odorata* y *Acrocarpus fraxinifolius* Wight y el resto (8%) fueron individuos de *Eucalyptus camaldulensis* y nativas tropicales como *Tebebuia roseae* y *Roseodendron donnell-smithii* (COFOM, 2003a).

Las plantaciones en la Sierra Purhépecha

Hasta la fecha, las plantaciones en el área tienen el mismo propósito que las existentes en gran parte del estado, pero sus perspectivas no son favorables debido a los problemas de orden político y social que inciden en el ritmo de destrucción de la vegetación forestal, la cual alcanza valores de 200 ha/año y es causada por diferentes agentes como los incendios, plagas, tala clandestina y cambios de uso del suelo (COFOM, 2003a).

En este contexto, se han realizado plantaciones forestales en la región considerando los siguientes objetivos: restaurar e incrementar la cubierta forestal, lo que permitirá recuperar el equilibrio de los terrenos degradados mediante la protección del suelo, y en consecuencia se reducirá la erosión del mismo, por lo tanto, el azolve de las presas que redundará en una prolongación de su vida útil; restablecer el hábitat de la fauna; mejorar el paisaje, el medio ambiente y abrir fuentes de empleo.

Desde el punto de vista social, son una alternativa para atender la oferta de mano de obra barata, y generar ingresos por la producción de materias primas, pues las labores agropecuarias pueden complementarse con las actividades forestales relacionadas con la propagación de planta en vivero y su establecimiento, manejo y aprovechamiento; es decir, fomenta el desarrollo socioeconómico de la región.

Contribución de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán

Durante 1951 la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (CFEM) inició su actividad por disposición oficial de la Secretaría de Agricultura y Ganadería y se constituyó como un organismo descentralizado, con participación del gobierno de la entidad y grupos de productores.

A partir de la promulgación de la Ley Forestal y su Reglamento en 1959, el gobierno estatal solicitó al Ejecutivo Federal la permanencia del organismo,

y en 1961 se expidió el decreto respectivo en el Diario Oficial de la Federación. Desde ese momento, la CFEM adquirió relevancia al convertirse en el centro técnico de los aspectos forestales estatales con una mayor participación en actividades de fomento, protección y divulgación de la cultura forestal (Moreno, 1999).

La reforma a la Ley Forestal de 1986 modificó el estatus de la CFEM: de organismo descentralizado pasó a formar parte de la administración pública estatal, con la denominación de Dirección Forestal dependiente de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal del estado de Michoacán. Por ello es que las actividades realizadas en esta materia dentro de la entidad durante los años de 1986 a 1997 fueron llevadas a cabo por esa Secretaría.

Con el propósito de hacer más eficiente la atención a las acciones de conservación, fomento y aprovechamiento de los recursos forestales, en 1998 el Gobierno del Estado nuevamente creó la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM), por decreto legislativo, como organismo descentralizado de utilidad pública. En 1999 por primera vez contó con presupuesto propio de poco más de 25 millones de pesos (Moreno, 1999).

En el periodo 1960-1986, la CFEM se destacó por el establecimiento de plantaciones en el estado, algunas muy exitosas, que incrementaron las masas forestales. En la actualidad la COFOM sigue en la misma línea pero con la aplicación de técnicas modernas sobre recolecta de germoplasma, propagación en vivero, así como pata el establecimiento, manejo y cultivo de plantaciones, a fin de lograr resultados relevantes en la recuperación del entorno ecológico y obtener productos útiles para la industria.

En 2002 la COFOM elaboró el Plan de Desarrollo Forestal Sustentable de Michoacán 2002-2008, cuyas metas principales consisten en realizar un programa de mejoramiento genético que incluye el establecimiento de siete áreas y dos huertos semilleros, así como el reacondicionamiento del banco de germoplasma.

Por conducto de la Fundación Produce Michoacán, A.C., en el lapso 2004-2005 se pudo contar con financiamiento para que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) seleccionara cinco áreas semilleras con las especies *Pinus pseudostrabus*, *P. montezumae* y *Abies religiosa*, y producir semilla certificada con posibilidad de una ganancia genética, a partir del conocimiento de su origen y la fuente parental femenina. Así mismo, se apoyó la selección de árboles superiores con el propósito de obtener material vegetativo para iniciar huertos semilleros clonales y suministrar germoplasma de alta calidad genética a los programas de reforestación y plantaciones comerciales en el estado de Michoacán (COFOM, 2003b).

Potencial de plantaciones en la Sierra Purhépecha

Por las características de suelo, clima, vegetación y componentes del medio físico, la Sierra Purhépecha es una zona de alta productividad forestal, como lo demuestran sus bosques naturales de pino, pino-encino, oyamel, pino-oyamel y mesófilo de montaña; su ritmo de crecimiento varía de 8 a 10 m³/ha/año, en lugares de buena calidad de estación y con el cultivo de plantaciones altamente productivas se pueden superar los 20 m³/ha/año (García, 1996c).

Investigadores del Campo Experimental Uruapan del INIFAP han realizado estudios en el área desde 1963 sobre la adaptación y crecimiento de especies con posibilidades de ser incorporadas por medio de reforestación; además, han desarrollado técnicas para el establecimiento de plantaciones, concluyendo que existe un excelente potencial de crecimiento de algunos taxa. Los resultados de esas experiencias se muestran en el Cuadro 4.

La información generada comprende aspectos sobre la preparación del terreno para plantaciones con plántula producida a raíz desnuda y en envase, así como niveles de fertilización; en ambos casos se refiere a *Pinus pseudostrobus*.

Se elaboró un instructivo para la evaluación de plantaciones forestales y determinación de los tamaños óptimos de planta en *P. patula* y *P. pseudostrobus*; densidades para fines específicos y técnicas de injerto para *P. pseudostrobus*, *P. douglasiana* y *P. michoacana*; establecimiento de huertos semilleros clonales, rutinas de fertilización, tipos de envases y contenedores; medios de crecimiento y métodos de cultivo en vivero para planta envasada y a raíz desnuda (Mas, 1984). Se tienen guías sobre producción de planta en envase y a raíz desnuda, podas en campo y para el desarrollo de plantaciones en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.

No obstante, queda mucho por investigar en relación a bancos de germoplasma, áreas y huertos semilleros, conservación de recursos genéticos, propagación vegetativa, micropropagación, evaluación de atributos morfológicos y fisiológicos de plantas propagadas en contenedores y a raíz desnuda; en general, se requieren estudios referentes al establecimiento y manejo de plantaciones forestales, no sólo con especies de pino, sino con latifoliadas como el aile, que complementarían con sus productos las necesidades de un mercado versátil como es el regional.

Superficies potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales

La superficie potencial por reforestar en la Sierra Purhépecha se estima en 100 mil ha, dimensión equivalente a las áreas de bosque improductivo y degradado que durante varias décadas han sido afectadas por diversos factores

Cuadro 4. Información general de las plantaciones forestales experimentales del INIFAP en la Sierra Purhépecha, Michoacán.

Localidad	Especie	Edad (años)	Espaciamiento (m)	Volumen (m ³ /ha)	IMAV (m ³ /ha/año)
Campo Experimental Barranca de Cupatitzio	<i>Pinus pseudostrobus</i>	18.8	2 x 2	278.2	14.8
	<i>P. michoacana</i>	24.3	2 x 2	347.8	14.3
	<i>P. herrerae</i>	14.6	3 x 3	218.2	14.9
	<i>P. greggii</i>	14.6	3 x 3	168.2	11.5
	<i>P. patula</i>	18.8	1.5 x 1.5	226.4	12.0
	<i>P. douglasiana</i>	8.6	2 x 2	46.3	5.4
Capacuaro	<i>P. pseudostrobus</i>	9.7	2 x 2	155.6	16.0
	<i>P. douglasiana</i>	9.7	2 x 2	210.4	21.7
	<i>P. montezumae</i>	9.7	2 x 2	185	19.0
	<i>P. leiophylla</i>	9.7	2 x 2	186.8	19.2
Angahuan	<i>P. pseudostrobus</i>	15.2	3 x 3	232.3	15.3
	<i>P. montezumae</i>	15.2	3 x 3	200.2	13.1
	<i>P. patula</i>	17.6	1.5 x 1.5	299.9	17.0

Fuentes: García (1996a); García (1996b); García (1996c)

de disturbio. Esas 200 mil ha susceptibles de reforestación contribuirían a la creación de una nueva riqueza forestal, por la multitud de beneficios directos e indirectos que se generarían para sus dueños o poseedores.

Costos de las plantaciones

En 1971 plantar una hectárea de pino costaba \$2,200.00 viejos pesos con un espaciamento de 3 x 3 m; para 1976 se elevó el precio a \$5,000.00 y en 1985 fue de \$100,000.00 viejos pesos, en 1986 ascendió a \$200,000.00, debido a las altas tasas de inflación (Mas, 1988). Durante 1991, con una densidad

de 2 500 árboles/ha, el valor era de \$5,075.00 nuevos pesos, incluyendo la preparación mecanizada del terreno y su cercado; posteriormente, esta cantidad se duplicó (Muñoz, 1997).

Política forestal en materia de plantaciones forestales en México

La Ley Forestal de 1992 tuvo como objetivo principal reconocer a los bosques como "Patrimonio de la Sociedad"; además consideró la inversión privada en forma integrada con ejidatarios y comuneros, lo que permitiría mejorar en términos de calidad y cantidad la explotación silvícola.

Como resultado de esta ley, las posibilidades de establecer plantaciones comerciales en el país fueron muy alentadoras; a su vez, el Gobierno Federal puso en marcha nuevas políticas y legislación en apoyo al subsector forestal. Entre otras acciones se propuso facilitar a los poseedores del bosque su manejo y fomentar la conservación, protección y aprovechamiento de los recursos forestales.

Las reformas al artículo 27 constitucional favorecieron que los pequeños propietarios forestales, o las asociaciones de inversionistas con el sector social, establecieran plantaciones en extensiones equivalentes a 25 veces el tamaño de la pequeña propiedad forestal (hasta 20 mil ha).

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003, tiene entre sus objetivos específicos promover y regular las forestaciones con propósito comercial, y contribuir al desarrollo socioeconómico de los pueblos y comunidades indígenas, así como de los ejidatarios, comuneros, cooperativas, pequeños propietarios y demás poseedores de recursos forestales.

Dicha ley menciona que en terrenos temporales y preferentemente forestales, se promoverá de manera primordial la utilización de especies nativas que sean viables, desde el punto de vista tecnológico y económico. La autoridad tendrá en todo momento la facultad de supervisar el manejo de la plantación, cuidando los posibles impactos ambientales adversos y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) expedirá la Norma Oficial Mexicana que establezca las especies de vegetación forestal exótica que ponga en riesgo la biodiversidad.

Cita que las plantaciones forestales comerciales en terrenos temporales forestales o en predios con superficies menores o iguales a 800 ha, sólo necesitarán de un aviso por escrito del interesado a la Secretaría. Se requerirá autorización de la misma para realizar plantaciones comerciales en terrenos preferentemente forestales con superficies mayores a 800 ha, para lo cual el interesado deberá presentar un programa de manejo, documento que no se solicita en el primer caso (SEMARNAT, 2005).

En cuanto a las actividades de forestar y reforestar con fines de conservación y restauración, la ley establece que las acciones que se lleven a cabo en los terrenos forestales sujetos al aprovechamiento, tendrán que incluirse en el programa de manejo forestal. Los tres órdenes de gobierno impulsarán la reforestación con especies forestales nativas y la Norma Oficial Mexicana definirá las especies de vegetación forestal exótica, que por sus características biológicas afecten los procesos o patrones de distribución de la vegetación forestal nativa, en terrenos forestales y preferentemente forestales.

La reforestación o forestación de las áreas taladas será una acción prioritaria en los programas de manejo, así como las zonas incendiadas, especialmente las que hayan sufrido siniestros reiterados (SEMARNAT, 2005). La carencia de un seguro contra estos eventos es una causa importante que frena la afluencia de recursos financieros hacia programas de plantaciones comerciales.

Financiamiento de Plantaciones Forestales Comerciales

La banca de desarrollo, particularmente los Fondos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) y el Fondo de Capitalización e Inversión del Sector Rural (FOCIR) alientan a los dueños del bosque, inversionistas e industriales, con préstamos blandos para el financiamiento de plantaciones forestales con fines comerciales. El FIRA apoya hasta con 90% del crédito, tanto para el establecimiento y mantenimiento, como para el aprovechamiento, la industrialización y la comercialización de los productos resultantes.

El FOCIR participa hasta con 25% del capital contable de las empresas del sector, con base en esquemas de asociación productiva a largo plazo entre los dueños de la tierra e inversionistas, o bien en apoyo directo al sector social (CONAFOR, 2005).

Nacional Financiera (NAFIN) colabora con participación accionaria a tasas preferenciales para ejecutar los proyectos de modernización y ampliación de la infraestructura industrial de aserraderos, fábricas de triplay, tableros y la producción de fibra y celulosa; en tanto que el Banco de Comercio Exterior (BANCOMEXT) ofrece un programa de ayuda al sector forestal de exportación, que incluye financiamiento e información comercial (CONAFOR, 2005).

En la región de la Sierra Purhépecha se cuenta con fuentes de financiamiento del Programa Nacional de Reforestación (PRONARE) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), y del Fondo Nacional de Empresas en Solidaridad (FONAES) que actualmente apoya hasta con 35% de los costos del proyecto (Cuadro 5).

Cuadro 5. Apoyos de la banca de desarrollo para el establecimiento de plantaciones forestales.

Etapa	Banca de Fomento	Capital de riesgo	Seguro
Previo al aprovechamiento	FIRA	FONAES	-----
Aprovechamiento y cultivo del bosque	FIRA	FONAES	AGROASEMEX
Transporte de productos forestales	FIRA	-----	AGROASEMEX
Industrialización	FIRA NAFIN	FOCIR, FONAES	AGROASEMEX
Comercialización	FIRA BANCOMEXT	FONAES	-----

Una política importante en materia de plantaciones forestales fue la creación del Programa para el Desarrollo de las Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN), mediante el cual el Gobierno Federal ha proporcionado subsidios directos para el establecimiento de 875 mil ha de plantaciones en un lapso de 25 años y la compensación parcial de los gastos efectuados en su etapa inicial y mantenimiento hasta por un periodo de 7 años.

Apoyos Fiscales

El Gobierno Federal otorga prerrogativas fiscales con la reducción de 25 a 50% en los impuestos sobre la renta y al activo; depreciación inmediata de 93% de la inversión en maquinaria y equipo a ejidos y comunidades; acreditación de inversiones en bienes de activo fijo contra el impuesto al activo, exención a los dividendos y las ganancias de capital; así como una tasa cero al impuesto del valor agregado (IVA) para los insumos de la actividad silvícola, además de un periodo de amortización de pérdidas fiscales de hasta 10 años.

En la Sierra Purhépecha, la mayoría de las plantaciones forestales se han establecido en terrenos comunales, ejidales y con menor frecuencia en propiedades particulares. Lamentablemente siguen siendo comunes los litigios

agrarios; así, en la Ex-Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal (UCODEFO) No. 6, se estima que hay 27 mil ha en litigio (SARH, 1987) y, en consecuencia, son muy susceptibles a un aprovechamiento clandestino. A este problema se le agrega la falta de titulación definitiva de la tierra, poca o nula organización de propietarios y poseedores de terrenos, y el desinterés económico en la producción silvícola a largo plazo.

La organización dentro de las comunidades es primordial para que se lleven a cabo proyectos de plantaciones comerciales en la Sierra Purhépecha, donde ya existen algunos ejemplos como es el caso de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich.

Tasa de retorno

La rentabilidad de la inversión o tasa de retorno es una magnitud económica de primera importancia y según la FAO, mientras el cultivo del bosque natural manejado permite retornar a interés compuesto del orden de 1 a 2%, las plantaciones proporcionan a menudo tasas que duplican o triplican este valor.

Al parecer el factor determinante del monto de la inversión inicial es el costo relativo de la mano de obra y del capital para compra de maquinaria, herramientas y materiales. En la medida que baja el costo de la mano de obra se reduce la inversión inicial de las plantaciones y viceversa; por otra parte, conforme se disminuye el costo del capital, tiende a reducirse la inversión inicial que representa el tiempo de espera para obtener la regeneración del bosque. Por ejemplo, un bosque natural de calidad de estación media en la Sierra Purhépecha supondría un lapso de 50 años para la producción de madera con una corta final estimada de 90 a 120 m³. En cambio, con las plantaciones en ese periodo, se tendrían de 2 a 2.5 cosechas, calculándose al menos 400 m³ volumen total árbol (VTA) por cosecha.

Mas y Pahl (1990) proponen una estrategia para minimizar los efectos de la inversión inicial, que consiste en desmontar áreas arboladas muy aclaradas por la sobreexplotación, con existencias promedio de hasta 80 m³/ha y con escaso o nulo renuevo natural, con la finalidad de obtener un ingreso inicial que ayudaría a financiar parte de los costos de las plantaciones, posteriormente, incorporar al programa los terrenos con bajo rendimiento agrícola y los de aptitud forestal que estén sin ningún uso.

CONCLUSIONES

En la Sierra Purhépecha del estado de Michoacán se dispone de suficientes terrenos para el desarrollo exitoso de un programa de plantaciones comerciales. Sus características edafo-climáticas son propicias para el crecimiento de árboles forestales y presentan condiciones ecológicas favorables para dicho propósito.

Para su establecimiento en la Sierra Purhépecha se deberán utilizar de preferencia especies nativas como *Pinus pseudostrabus*, *P. douglasiana* y *P. michoacana* var. *cornuta*, que han mostrado los mejores rendimientos (20 m³/ha o mayores) y que tecnológica y económicamente son viables.

En el caso del desarrollo de bosques inducidos se sugiere incorporar las siguientes especies: *Pinus montezumae*, *P. herrerae*, *P. ayacahuite* var. *veitchii*, *P. patula* y *P. greggii*.

REFERENCIAS

- Anguiano C., J., J. Alcantar R., A. Ruiz C., J. González A., I. Vizcaino V., R. Regalado R. y C. de la Mora O. 2003. Recursos edafo-climáticos para la planeación del sector productivo en el estado de Michoacán. Libro Técnico No. 1. CIRPAC, INIFAP, SAGARPA. 173 p.
- Bello G., M. A. 1993. Plantas útiles no maderables de la Sierra Purhépecha, Michoacán, México. Folleto Técnico No. 10. CIRPAC, INIFAP, SARH. 115 p.
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). 2003a. Programa de Plantaciones Forestales de Michoacán. Bosques y Selvas de Michoacán 1(3): 6-7.
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). 2003b. Plan de Desarrollo Forestal Sustentable de Michoacán (2002-2008). Bosques y Selvas de Michoacán 1(3): 11-13.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2005. Programa de Plantaciones Forestales.
<http://www.conafor.gob.mx/programasnacionalesforestales/prodeplan.htm>. (5 de octubre de 2005).
- Davis K., P. 1966. Forest management: regulation and valuation. McGraw Hill. 2nd. edition. New York, NY. USA. 519 p.
- García M., J. J. 1996a. Plantaciones forestales con *Pinus patula* Schl. et Cham en las regiones centro y suroccidente de Michoacán. Folleto Técnico No. 7. CIRPAC, INIFAP, SAGAR. 28 p.
- García M., J. J. 1996b. Crecimiento de dos especies de pino establecidas en suelos andosoles cubiertos con arena volcánica. Folleto Técnico No. 1. CIRPAC, INIFAP, SAGAR. 12 p.
- García M., J. J. 1996c. Coníferas promisorias para reforestación en la Sierra Purhépecha. Agenda Técnica No. 2. CIRPAC, INIFAP, SAGAR. 79 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1997. La producción forestal en la Meseta Purhépecha en el Estado de Michoacán. México. D. F. 59 p.
- Mas P., J. 1984. Instructivo para el registro de datos del inventario para manejo silvícola de plantaciones forestales de clima templado y frío. Bol. Div. Inst. Nal. Invest. For. No. 67, México. 28 p.

- Mas P., J. y A. Pahua G. 1990. El SPES La Nieve a 27 años de su establecimiento. Folleto Técnico No. 2. CIFAP-Michoacán, INIFAP, SARH. 68 p.
- Muñoz F., H. J. 1997. Plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. a raíz desnuda y en envase con dos sistemas de preparación de terreno. Cien. For. en Méx. 22(82): 33-58.
- Moreno G., S. 1999. La creación de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (Proceso Legislativo). Tesis Profesional. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. Méx. 115 p.
- Programa Nacional de Solidaridad. 1994. Programa de desarrollo de la Meseta P'urhepecha de Michoacán. Secretaría de Desarrollo Social. México D. F. 89 p.
- Quiñónez A., V. 2003. Programa Estatal de Reforestación 2002. Bosques y Selvas de Michoacán. 1(1): 17-19.
- Sáenz R., C. y R. Lindig, C. 2004. Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacán, México. Ciencia Nicolaita. No. 37. pp. 107-120. <http://isis.cic.umich.mx/revista/CN37-107.PDF> (13 de enero de 2005).
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1987. Estudio dasonómico general de la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 6 "Meseta Tarasca". s/p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1991-1992. Inventario nacional forestal de gran visión. Subsecretaría Forestal, SARH. México. D. F. 53 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (SARH). 1992a. Política nacional de fomento a las plantaciones forestales industriales. Subsecretaría Forestal, SARH. Documento informativo. 6 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (SARH). 1992b. Industria forestal instalada en Michoacán. Delegación estatal en Michoacán. Documento informativo. 12 p.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal (SDAF). 1995. Inventario forestal estatal región Meseta Tarasca. Gobierno de Estado de Michoacán. Documento informativo. 37 p.
- Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1998. Las plantaciones forestales comerciales en México. Subsecretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Dirección de Plantaciones Forestales Comerciales. SEMARNAP. Documento Informativo. 4 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación (25 de febrero de 2003) <http://www.gob.mx/wb2/egobierno/egob-ley-GeneraldeDesarrolloForestalSustentable.htm>. (5 de octubre de 2005).
- Varela H., S. 1998. Los recursos forestales de México. In: Memoria del ciclo de conferencias: El sector forestal de México, avances y perspectivas. SEMARNAP. México, D. F. pp. 29-43.

VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS SEMILLAS DE *Azadirachta indica* A. Juss. DE DOS PROCEDENCIAS EN MÉXICO

Teresita del Niño Jesús Marín Hernández¹,
Pilar de la Garza López de Lara¹, Efraín Velasco Bautista¹,
Felipe Nepamuceno Martínez¹, Hugo Ramírez Maldonado²
y Manuel E. Ovando Cruz³

RESUMEN

Azadirachta indica (neem) es un árbol valioso de uso múltiple, originario de la India, país en el que se ha utilizado como planta medicinal, nematocida, insecticida y para elaborar carbón; sus propiedades bioinsecticidas se atribuyen a una amalgama de compuestos naturales conocidos como limonoides; el más importante de ellos es el azadiractín que se concentra en las semillas. Debido a la demanda creciente de plaguicidas de origen natural, el neem se introdujo a finales de los 80 en varios estados de México, en los que se desarrolló exitosamente; en Oaxaca, la Sociedad de Solidaridad Social Ecosta Yutu Cuii, S. de S. S. estableció en 1992 una plantación con material procedente de dos orígenes geográficos, India y Filipinas. El neem produce frutos con una amplia variabilidad de tamaños que no ha sido evaluada en las plantaciones de México. Este trabajo se enfocó a la caracterización morfológica de las semillas para proponer una selección de individuos con base en esos rasgos. El material se obtuvo en Oaxaca, donde se recolectaron semillas de 30 árboles por origen geográfico, a cada una de las cuales se les midió el largo, ancho y se determinó su peso. Los resultados mostraron que este último tuvo diferencias significativas, entre y dentro de las procedencias; en cambio las variables ancho y largo sólo tienen diferencias significativas entre árboles en cada procedencia. No obstante, se discute que la mejor materia prima para el producto final, el azadiractín, es la originaria de la India.

Palabras clave: *Azadirachta indica*, azadiractín, neem, procedencias, selección, variación de semillas.

Fecha de recepción: 09 de noviembre de 2005.

Fecha de aceptación: 14 de junio de 2006.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: marin.teresita@inifap.gob.mx

² División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.

³ Campo Experimental Río Grande, C.I.R. Pacífico Sur, INIFAP.

ABSTRACT

Azadirachta indica (neem) is a valuable multipurpose species, native of India where it has been used as a medicinal, nematicide, insecticide and as a wood charcoal source. Its bioinsecticide properties have been attributed to different compounds known as limonoids, being azadirachtin one of the most important, and that concentrates in the seeds. Because of the growing need to use natural products to prevent pest attacks, neem was introduced to Mexico by the end of the 80's where the species can grow; one of them is the state of Oaxaca where, in 1992, the Social Solidarity Association Ecosta Yutu Cuii, S. de S. S. established one plantation using seed from two geographical origins (India and The Philippines). Neem trees produce fruits highly variable in size, a feature that has not been assessed in Mexico. This study focused on the characterization of seeds to propose the selection of trees based on morphological traits. In the Oaxaca plantation, seeds were collected from 30 trees of each geographical origin. Length, width and weight were measured in every seed. Results show significant differences between and inside provenances for the weight of the seed, while the length and width had none significant differences between provenances, but they did inside provenances. The discussion emphasizes that the Indian provenance produced the best results for azadirachtin.

Key words: *Azadirachta indica*, azadirachtin, neem, provenances, selection, seed variation.

INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas de síntesis química representan un riesgo para todo tipo de organismos, incluyendo al hombre, ya que en su mayoría son neurotóxicos (Isman, 1990). Una alternativa es el uso de compuestos biológicos debido a que tienen baja toxicidad hacia el ambiente, son más selectivos y biodegradables (Qi *et al.*, 2001). Por ello se ha intensificado la investigación en la búsqueda de extractos de plantas con efectos insecticidas para ser aplicados en los cultivos tanto en el campo, como durante su almacenamiento (Boeke *et al.*, 2004). Una de las plantas más estudiadas es *Azadirachta indica* A. Juss. (neem), cuyas propiedades bioinsecticidas han sido atribuidas a una amalgama de compuestos naturales conocidos como limonoides (Mordue y Blackwell, 1993; Singh *et al.*, 2002). El más importante de ellos es el azadirachtin que se concentra en las semillas (Tewari, 1992; Shumutterer, 1990).

Azadirachta indica pertenece a la familia Meliaceae y es originaria del sudeste asiático, crece en regiones de selva tropical caducifolia en un intervalo altitudinal de 50 a 1500 m y precipitaciones entre 150 y 200 mm, aunque prospera mejor por debajo de los 1000 m y 450 mm. Es una especie valiosa por la diversidad de usos

que se le han dado: sus hojas son aprovechadas como forraje; su madera para leña y en la construcción (Tewari, 1992); presenta propiedades anticonceptivas (Talwar *et al.*, 1997; Parshad *et al.*, 1997), fungicidas (Suresh *et al.*, 1997; Steinhauer, 1999) e insecticidas, y es por estas últimas que ha sido introducida en diversas regiones del mundo desde hace más de 50 años. La importancia del neem se ve reflejada en la gran cantidad de artículos científicos que se han publicado sobre su utilización en el control de plagas y nemátodos; acerca de sus efectos anticancerígenos; aspectos químicos de su metabolismo como la diversidad de su contenido de ácidos grasos, así como la composición y variación de diferentes metabolitos secundarios.

Su llegada a México se remonta a fines de los años 80, como un ensayo experimental en la región árida de Nuevo León y Baja California Sur (Osuna y Meza, 2001). En 1992 se hizo una plantación comercial más amplia en la Costa de Oaxaca, por parte de la Sociedad de Solidaridad Social Ecosta Yutu Cuii, con semilla procedente de India y Filipinas (Reyes, 2000). A mediados de los años 90, mediante el Programa Nacional de Reforestación (PRONARE) se extendió su distribución a otros estados de la República. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) inició un programa de investigación sobre el neem, lo que propició que la especie se incorporara a sus campos experimentales tropicales. En la actualidad existen plantaciones de *Azadirachta indica* en Baja California Sur, Sinaloa, Sonora, San Luis Potosí, Tamaulipas, Nayarit, Michoacán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Veracruz, Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Morelos y Nuevo León (Nepamuceno *et al.*, 2000).

Las semillas de *A. indica* son muy diferentes en tamaño y forma (Figura 1), misma que ha sido asociada con la constante producción de azadiractín; al respecto se citan valores de 0.75 g/kg a 3.5 g/kg en semillas de diversos orígenes (Morgan, citado por Tewari, 1992). Lo anterior sugiere una gran disponibilidad para la selección y mejoramiento genético de la especie, con base en el supuesto de que los niveles de variación, entre y dentro de las poblaciones reúnen la información evolutiva que fundamenta los programas respectivos (Furnier, 1997). En este contexto, los estudios sobre la variación de las semillas entre procedencias y genotipos son escasos en México, aún cuando se han utilizado como material de propagación.

A fin de poder recomendar los atributos que hagan posible la selección de individuos de *Azadirachta indica*, el objetivo de esta investigación consistió en estimar la variación entre y dentro de las procedencias (India y Filipinas) correspondiente a las características de largo, ancho y peso de las semillas de árboles plantados en Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está situada en Río Grande, Municipio de San Pedro Tututepec, Oaxaca a 17° 59' latitud norte y 97° 25' longitud oeste, con una altitud de 999 m; temperatura máxima de 31.7°C, mínima de 21.6°C y la media anual de 26.6°C; una precipitación anual de 1202 mm.

Se muestrearon dos procedencias, India y Filipinas; de cada una se escogió a 30 árboles sanos con frutos maduros, discriminando los ejemplares de los bordes de la plantación. La recolecta fue en hileras, dentro de las cuales se eligió el 5° árbol y en él se recolectó 1 kg de frutos, mismos que se despulparon y secaron a la sombra; de ellos se tomaron 15 semillas al azar, a las que se les midió el largo y ancho con un vernier electrónico Line Master® de aproximación a centésimas de milímetro; su peso se obtuvo con una balanza analítica de 0.01 mg marca Sartorius®.

Se determinó la existencia de diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre árboles de cada procedencia para todas las variables evaluadas mediante un análisis de varianza con el modelo lineal para el diseño anidado de dos etapas con el factor árbol anidado en procedencia (Montgomery, 2002).

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + A(P)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = variable de respuesta
- μ = efecto de la media general
- P_i = efecto de la i -ésima procedencia
- $A(P)_{ij}$ = efecto del j -ésimo árbol anidado en la i -ésima procedencia
- e_{ijk} = error aleatorio.

Posteriormente se realizó la comparación de medias por el método de Tukey HSD para determinar los grupos homogéneos de árboles de cada procedencia. Todos los análisis se hicieron en el paquete estadístico SAS versión 8 (Sall *et al.*, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación morfológica en los frutos y semillas de las plantaciones de neem fue desde formas redondas hasta alargadas (Figura 1), lo que se ve reflejado en los análisis que enseguida se discuten.

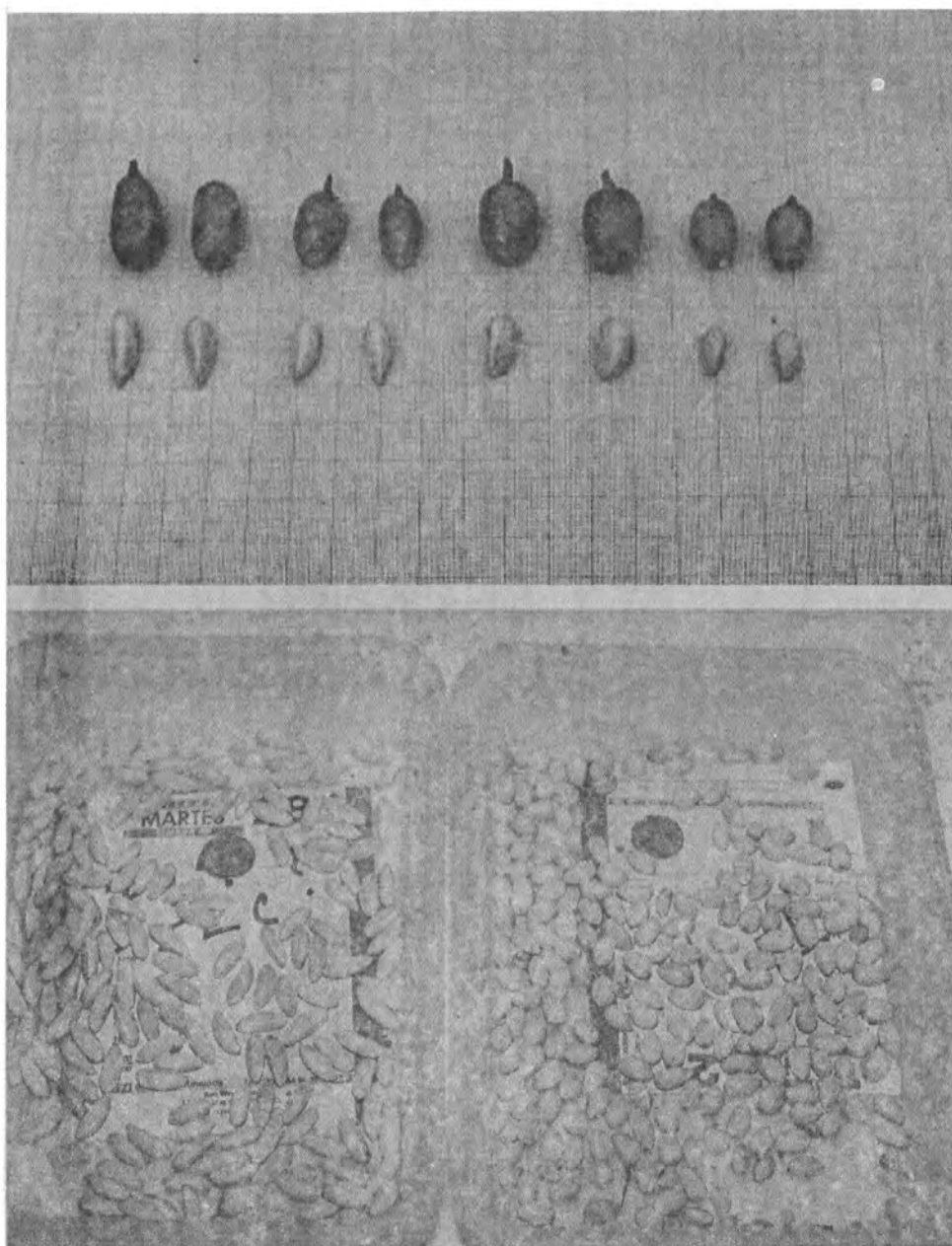


Figura 1. Variabilidad de forma y tamaño de las semillas del neem.

Peso de la semilla

El análisis de varianza permitió observar la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) entre procedencias y árboles dentro de cada origen geográfico para esta variable (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para el peso de las semillas de *Azadirachta indica*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Valor de p
Modelo	59	1.9106	0.0324	19.53	<.0001
Error	791	1.3115	0.0017		
Total corregido	850	3.2221			
Procedencia	1	0.1664	0.1664	5.59	0.0214
Árbol/procedencia	58	1.7339	0.0299	18.03	<.0001

La prueba de Tukey entre procedencias identificó dos grupos, de los cuales el de la India tuvo un valor medio mayor con respecto al de Filipinas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Grupos generados de acuerdo a la prueba de Tukey a nivel de procedencia.

Origen	Grupo	Grupo	Media
India	A		0.3072
Filipinas		B	0.2791

La misma prueba para los árboles dentro del nivel de procedencias reveló que el grupo A está conformado por ejemplares originarios de la India, excepto el árbol 21 de Filipinas que lo encabeza. Un comportamiento similar se presentó para los grupos B y C (Cuadro 3), por lo que se puede afirmar que los árboles de la India, en general, son los que ostentan los pesos de las semillas más elevados.

Los grupos W y X en su mayor parte incluyen individuos de Filipinas (Cuadro 3), lo cual significa que los valores mínimos para la característica de interés corresponden a dicha procedencia.

En las figuras 2 y 3 se advierte que al analizar este componente con el modelo del diseño anidado, los supuestos de varianza constante y de normalidad de los errores no han sido violados. El estadístico de Durbin-Watson resultó ser de 1.88 (cercano a 2); por lo tanto, tampoco hay señal de autocorrelación de los errores.

Cuadro 3.- Grupos generados con el peso de la semilla de acuerdo a la prueba de Tukey a nivel de árbol dentro de procedencia.

Procedencia/árbol	Media
[200]21 A	0.4188
[100]24 A B	0.4035
[100]21 A B C	0.3937
[100]11 A B C D	0.3851
[100]18 A B C D E	0.3760
[100]13 A B C D E F	0.3580
[200]10 B C D E F G	0.3485
[100]26 B C D E F G H	0.3449
[200]8 B C D E F G H I J	0.3374
[100]4 C D E F G H I	0.3354
[100]14 C D E F G H I J	0.3346
[100]23 C D E F G H I J K L	0.3307
[100]20 D E F G H I J K	0.3265
[100]30 D E F G H I J K L M N	0.3258
[200]17 D E F G H I J K L M	0.3252
[100]9 D E F G H I J K L M N	0.3239

continúa...

continuación Cuadro 3...

Procedencia/árbol	Media
[200]30 D E F G H I J K L M N O	0.3219
[100]15 E F G H I J K L M N O P	0.3153
[100]22 E F G H I J K L M N O P	0.3142
[100]29 E F G H I J K L M N O P Q	0.3132
[100]27 F G H I J K L M N O P Q R	0.3077
[100]28 F G H I J K L M N O P Q R	0.3048
[200]19 F G H I J K L M N O P Q R S	0.2994
[100]5 F G H I J K L M N O P Q R S	0.2971
[200]7 F G H I J K L M N O P Q R S	0.2967
[200]27 G H I J K L M N O P Q R S T	0.2936
[200]6 G H I J K L M N O P Q R S T	0.2925
[200]23 G H I J K L M N O P Q R S T	0.2920
[200]26 G H I J K L M N O P Q R S T	0.2903
[200]16 G H I J K L M N O P Q R S T	0.2871
[200]15 H I J K L M N O P Q R S T	0.2859
[100]7 H I J K L M N O P Q R S T U	0.2855
[100]10 H I J K L M N O P Q R S T U	0.2843
[200]2 H I J K L M N O P Q R S T U	0.2836
[100]3 H I J K L M N O P Q R S T U	0.2824
[200]3 I J K L M N O P Q R S T U V	0.2759
[200]11 I J K L M N O P Q R S T U V	0.2748
[200]5 J K L M N O P Q R S T U V	0.2740

continúa...

continuación Cuadro 3...

Procedencia/árbol		Media
[100]12	I J K L M N O P Q R S T U V	0.2728
[100]1	K L M N O P Q R S T U V	0.2702
[200]29	K L M N O P Q R S T U V	0.2693
[100]6	L M N O P Q R S T U V	0.2656
[100]17	L M N O P Q R S T U V	0.2645
[100]2	K L M N O P Q R S T U V	0.2635
[200]4	M N O P Q R S T U V	0.2633
[200]24	N O P Q R S T U V	0.2631
[200]20	O P Q R S T U V	0.2619
[100]16	O P Q R S T U V W	0.2599
[200]9	P Q R S T U V W X	0.2584
[200]28	Q R S T U V W X	0.2504
[200]25	R S T U V W X	0.2495
[200]22	R S T U V W X	0.2485
[200]13	S T U V W X	0.2411
[200]1	S T U V W X	0.2400
[100]8	T U V W X	0.2336
[200]18	T U V W X	0.2331
[100]19	U V W X	0.2245
[100]25	V W X	0.2181
[200]14	W X	0.1998
[200]12	X	0.1979

Niveles no conectados con la misma letra son significativamente diferentes. 100 = India y 200 = Filipinas.

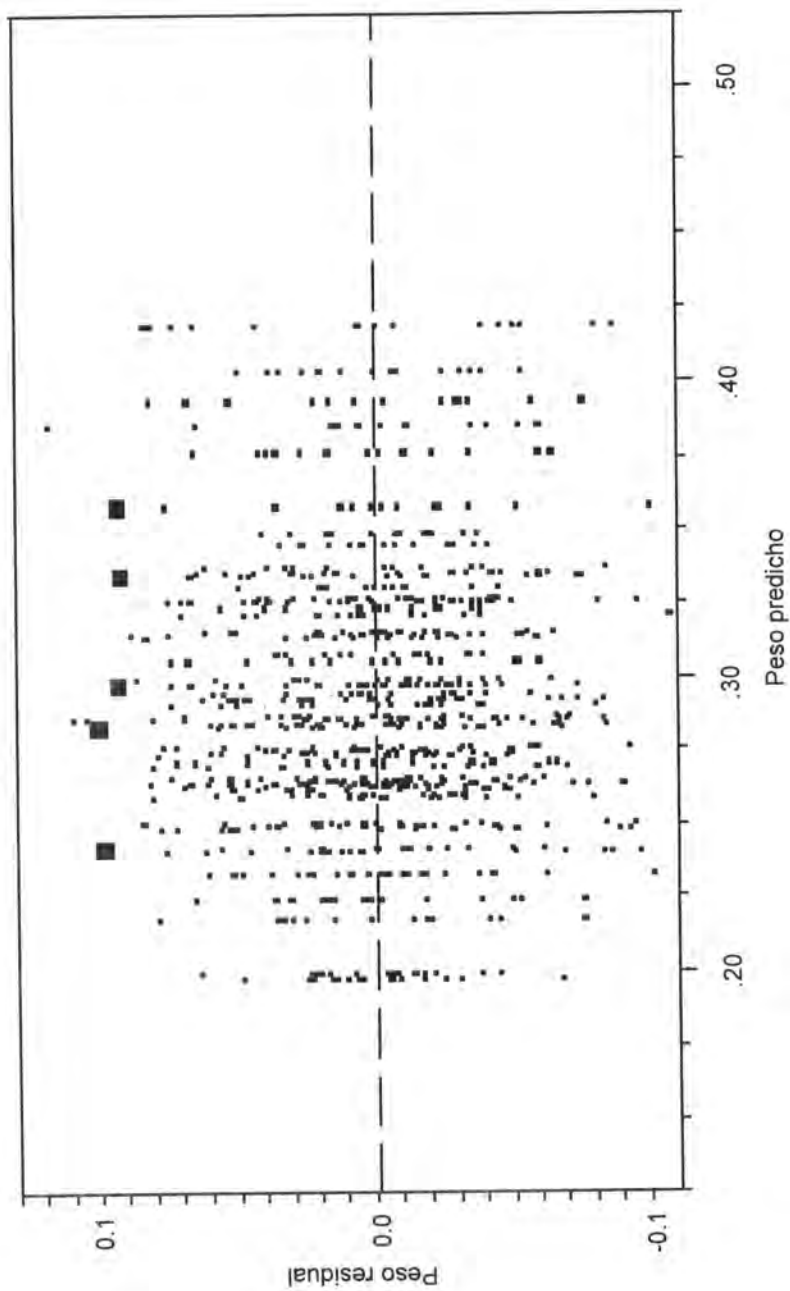


Figura 2. Dispersión de los residuales para la variable peso de la semilla.

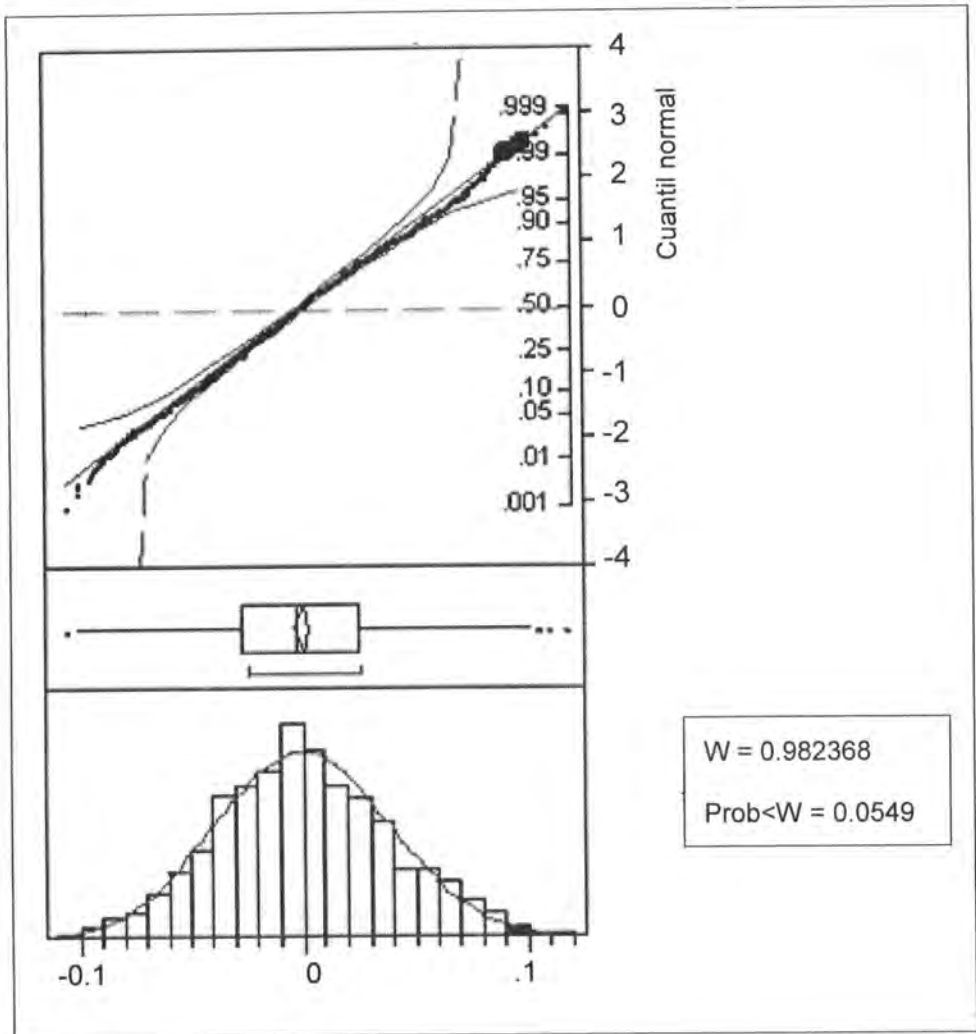


Figura 3. Distribución normal de los residuales para la variable peso de la semilla.

En el Cuadro 4 se presenta la distribución de los componentes de la varianza.

Cuadro 4. Componentes de la varianza estimados.

Componente	Componente de varianza estimado	Porcentaje del total
Árbol/procedencia	0.0020	54.56
Residual	0.0017	45.44
Total	0.0036	100.00

Largo y ancho de la semilla

El análisis de varianza correspondiente al largo y ancho indica que no existen diferencias significativas ($p > 5$) entre procedencias, pero sí a nivel de árboles dentro de ellas ($p < 0.05$) (cuadros 5 y 6).

Cuadro 5. Análisis de varianza para el largo de las semillas de *Azadirachta indica*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Valor de p
Modelo	59	1621.255	27.4789	38.44	<.0001
Error	838	599.0292	0.7148		
Total corregido	897	2220.284			
Procedencia	1	98.715	98.7150	3.76	0.0573
Árbol/procedencia	58	1522.34	26.2473	36.72	<.0001

Cuadro 6. Análisis de varianza para el ancho de las semillas de *Azadirachta indica*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Valor de p
Modelo	59	148.2713	2.5131	19.20	<.0001
Error	791	103.5402	0.1309		
Total corregido	850	251.8115			
Procedencia	1	0.7052	0.7052	0.28	0.5995
Árbol/procedencia	58	147.3310	2.5402	19.41	<.0001

La prueba de Tukey en ambas variables aplicada entre árboles dentro de procedencias destaca que tanto en el grupo A, como en el B hay representantes de India y de Filipinas (cuadros 7 y 8). Entonces, los valores más elevados para estas características pertenecen a individuos de ambos orígenes. El mismo patrón se aprecia para los tamaños mínimos del largo de la semilla, concretamente en los grupos U y V. Un resultado interesante fue que 50% de los 22 datos de ancho de la semilla que integraron el grupo V, correspondieron a la India, es decir los valores bajos pertenecen a las dos procedencias (Cuadro 8).

Cuadro 7. Grupos generados con el largo de la semilla de acuerdo a la prueba de Tukey nivel de árbol dentro de procedencia.

Procedencia/árbol	Media
[100]14 A	17.5027
[200]20 A B	17.4667
[100]24 A B	17.3833
[200]6 A B C	16.5020
[200]27 A B C	16.4947

continúa...

continuación Cuadro 7...

Procedencia/árbol	Media
[100]6 A B C D	16.3553
[100]7 B C D E	16.2387
[100]4 B C D E	16.2327
[100]29 C D E F	16.0893
[100]15 C D E F G	15.9147
[100]26 C D E F G	15.9060
[200]8 C D E F G H	15.8053
[100]11 C D E F G H	15.7964
[100]18 C D E F G H	15.7880
[100]13 C D E F G H I	15.6927
[200]30 C D E F G H I J	15.5387
[200]23 C D E F G H I J K	15.5273
[100]21 C D E F G H I J K	15.5060
[200]3 C D E F G H I J K	15.4947
[200]21 C D E F G H I J K	15.4740
[100]23 C D E F G H I J K L	15.3680
[100]10 C D E F G H I J K L M	15.3367
[200]17 C D E F G H I J K L M N	15.2773
[200]1 C D E F G H I J K L M N	15.2547
[100]22 D E F G H I J K L M N	15.2193

continúa...

continuación Cuadro 7...

Procedencia/árbol	Media
[200]19 D E F G H I J K L M N	15.1860
[100]27 D E F G H I J K L M N	15.1387
[100]25 E F G H I J K L M N	15.0573
[100]3 F G H I J K L M N O	14.9660
[200]10 F G H I J K L M N O	14.9500
[100]28 F G H I J K L M N O	14.9093
[100]12 F G H I J K L M N O P	14.8993
[100]9 F G H I J K L M N O P Q	14.8773
[200]12 G H I J K L M N O P Q	14.7187
[100]17 G H I J K L M N O P Q	14.6747
[100]5 H I J K L M N O P Q R	14.5847
[200]15 I J K L M N O P Q R	14.5093
[200]22 J K L M N O P Q R	14.4147
[200]7 J K L M N O P Q R	14.3280
[200]16 K L M N O P Q R	14.2660
[200]24 L M N O P Q R	14.1713
[100]20 L M N O P Q R	14.1253
[200]13 L M N O P Q R	14.1200
[200]11 M N O P Q R	14.0987
[100]2 L M N O P Q R	14.0914
[200]29 N O P Q R S	14.0320

continuación Cuadro 7...

Procedencia/árbol		Media
[200]18	O P Q R S T	13.7473
[200]5	P Q R S T	13.6400
[100]30	Q R S T	13.6207
[100]8	R S T U	13.4000
[200]2	R S T U	13.3380
[200]4	S T U V	12.7940
[100]1	T U V	12.7440
[100]19	T U V	12.6613
[200]25	T U V	12.6233
[200]28	T U V	12.5067
[100]16	U V	12.3240
[200]9	U V	12.2587
[200]14	V	12.0005
[200]26	V	11.9707

100 = India y 200 = Filipinas.

Cuadro 8. Grupos generados con el ancho de la semilla de acuerdo a la prueba de Tukey nivel árbol dentro de procedencia.

Procedencia/árbol	Media
[100]21 A	7.8850
[200]21 A B	7.8375
[200]15 A B	7.8314
[100]23 A B C	7.7329
[100]13 A B C D	7.5979
[200]28 A B C D E	7.5243
[100]30 A B C D E F	7.4977
[100]24 A B C D E F	7.4960
[100]9 A B C D E F	7.4793
[200]10 A B C D E F G	7.4436
[200]6 A B C D E F G	7.4327
[100]18 A B C D E F G H	7.3867
[200]29 A B C D E F G H	7.3860
[200]26 A B C D E F G H I	7.3793
[100]1 B C D E F G H I J	7.3200
[200]4 B C D E F G H I J K	7.3093
[100]4 B C D E F G H I J K	7.3007
[100]11 A B C D E F G H I J K L	7.3000
[100]20 B C D E F G H I J K	7.2971
[200]9 C D E F G H I J K L M N	7.1785

continúa...

continuación Cuadro 8...

Procedencia/árbol		Media
[200]22	D E F G H I J K L M	7.1720
[100]26	D E F G H I J K L M N	7.1636
[100]27	D E F G H I J K L M N O	7.1300
[100]22	D E F G H I J K L M N O P Q	7.0477
[200]1	E F G H I J K L M N O P	7.0453
[200]16	E F G H I J K L M N O P	7.0353
[100]16	F G H I J K L M N O P Q R	6.9643
[200]7	F G H I J K L M N O P Q R S T	6.9369
[100]10	G H I J K L M N O P Q R S	6.9287
[200]8	G H I J K L M N O P Q R S	6.9240
[200]17	G H I J K L M N O P Q R S T	6.8938
[200]11	H I J K L M N O P Q R S T	6.8780
[200]5	H I J K L M N O P Q R S T	6.8493
[100]7	I J K L M N O P Q R S T	6.8279
[100]6	J K L M N O P Q R S T U	6.8040
[200]13	J K L M N O P Q R S T U	6.8008
[100]28	J K L M N O P Q R S T U	6.7927
[200]2	J K L M N O P Q R S T U	6.7827
[200]19	K L M N O P Q R S T U V	6.7657
[100]12	K L M N O P Q R S T U V	6.7562

continúa...

continuación Cuadro 8...

Procedencia/árbol	Media
[100]5	L M N O P Q R S T U V 6.7243
[200]3	L M N O P Q R S T U V 6.7207
[100]29	L M N O P Q R S T U V 6.7046
[100]19	M N O P Q R S T U V 6.6720
[100]14	N O P Q R S T U V 6.6287
[200]23	M N O P Q R S T U V 6.6138
[200]25	O P Q R S T U V 6.6127
[200]14	O P Q R S T U V 6.6127
[100]15	O P Q R S T U V 6.6067
[200]30	O P Q R S T U V 6.6057
[100]2	P Q R S T U V 6.5500
[100]3	P Q R S T U V 6.5308
[200]27	Q R S T U V 6.4933
[100]17	Q R S T U V 6.4873
[200]24	R S T U V 6.4587
[200]20	S T U V 6.3993
[100]8	S T U V 6.3980
[200]18	T U V 6.3721
[100]25	U V 6.2538
[200]12	V 6.2373

100 = India y 200 = Filipinas.

En las figuras 4, 5, 6 y 7 se observa que al analizar las variables largo y ancho de la semilla con el modelo del diseño anidado, los supuestos de varianza constante y de normalidad de los errores no han sido violados. El estadístico de Durbin-Watson para el largo resultó de 2.06 y en el caso del ancho fue de 1.95 (cercanos a 2); es decir, no hay señal de autocorrelación de los errores.

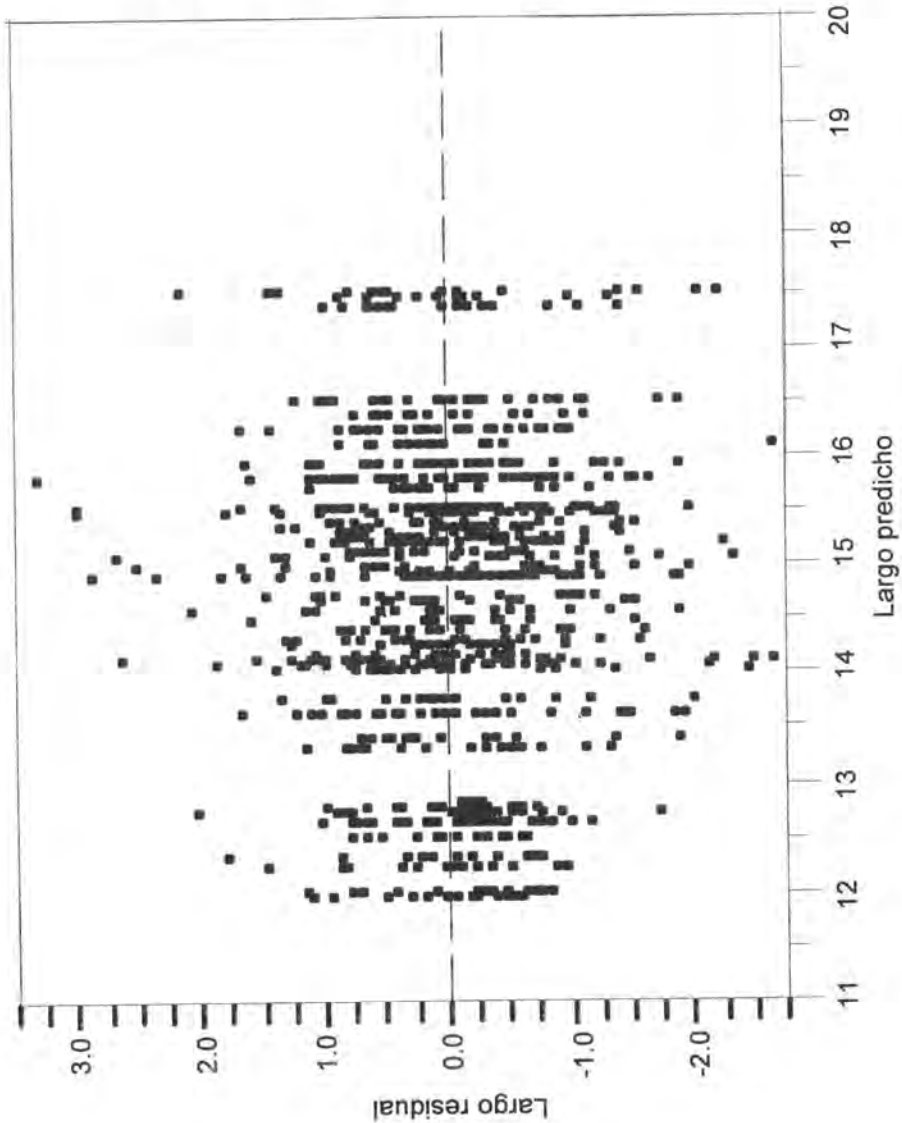


Figura 4. Dispersión de los residuales para la variable largo de la semilla.

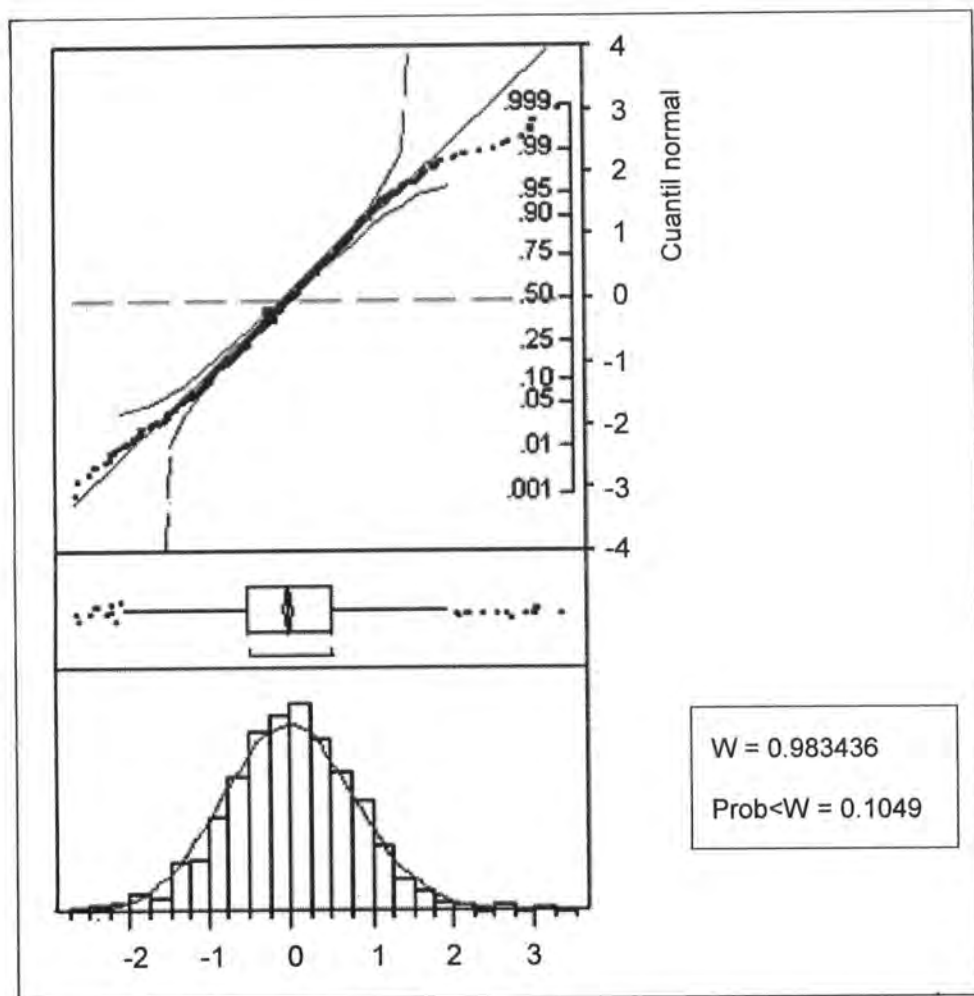


Figura 5. Distribución normal de los residuales para la variable largo de la semilla.

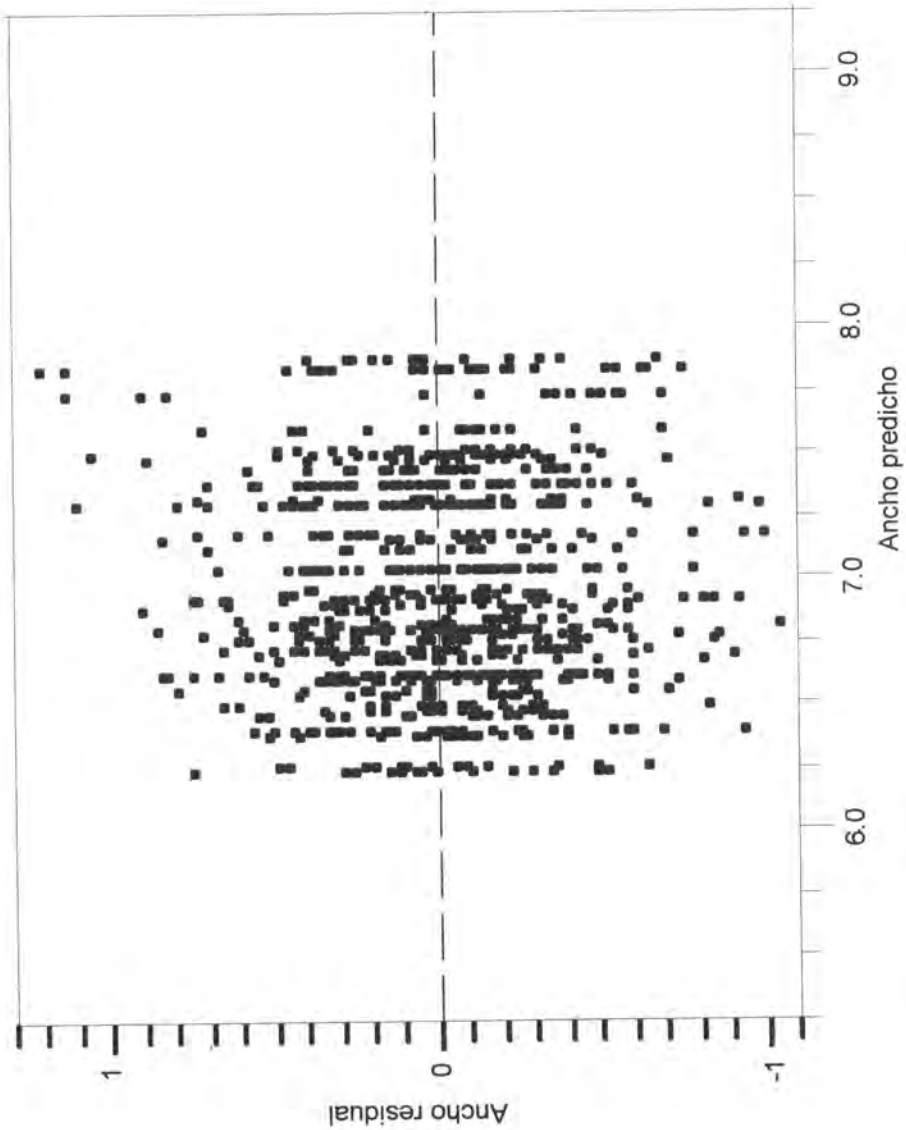


Figura 6. Dispersión de los residuales para la variable ancho de la semilla.

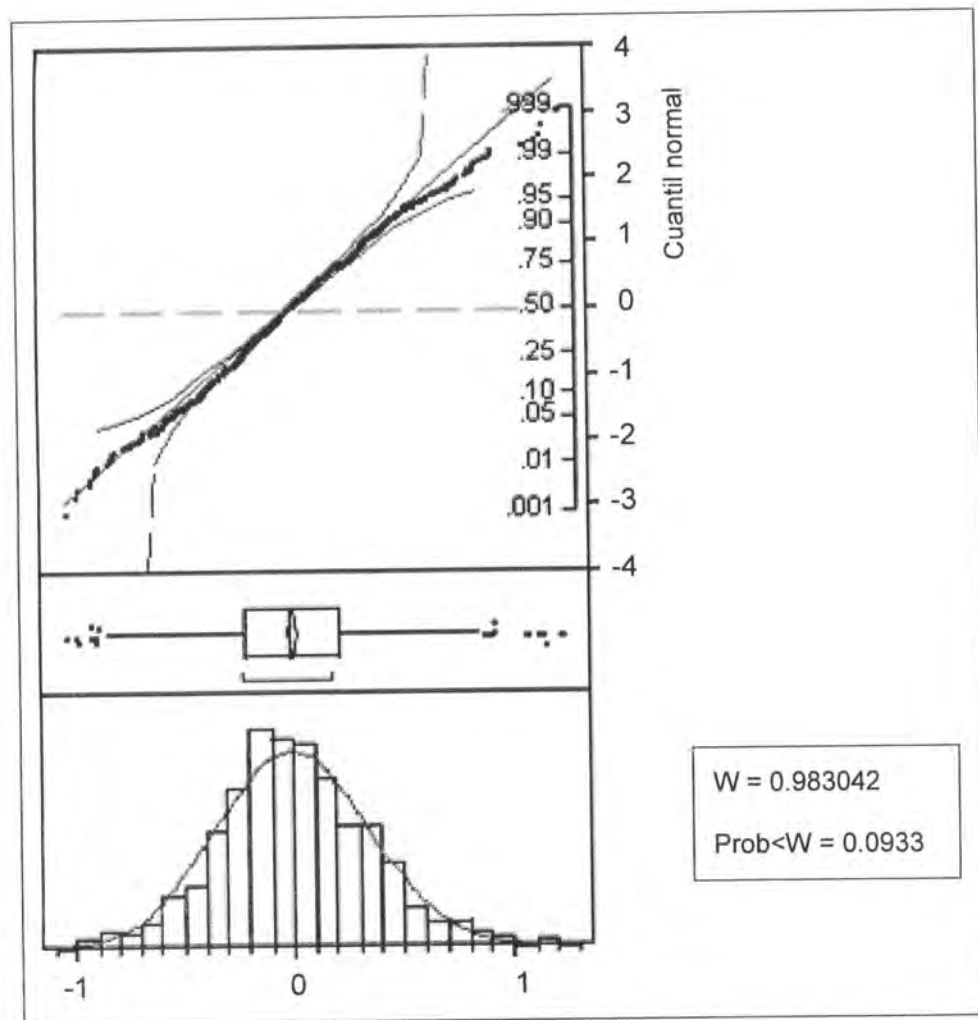


Figura 7. Distribución normal de los residuales para la variable ancho de la semilla.

La distribución de los componentes de la varianza para largo y ancho se muestran en los cuadros 9 y 10.

Cuadro 9. Componentes estimados de la varianza relativos al largo de la semilla.

Componente	Componente de varianza estimado	Porcentaje del total
Árbol/procedencia	1.7060	70.47
Residual	0.7148	29.53
Total	2.4208	100.00

Cuadro 10. Componentes estimados de la varianza relativos al ancho.

Componente	Componente de varianza estimado	Porcentaje del total
Árbol/procedencia	0.1699	56.48
Residual	0.1309	43.52
Total	0.3008	100.00

De acuerdo a los cuadros 3, 7 y 8, el árbol 4 de la India tuvo valores altos en las tres variables estudiadas; así mismo, el número 21 los registró para el peso y el ancho de la semilla, lo que sugiere que esa procedencia ha tenido un proceso de selección más exhaustivo que la de Filipinas.

Este trabajo es un aporte a los estudios de selección de las semillas del neem, los cuales se han efectuado con otros enfoques tales como: determinación del contenido de metabolitos (Ermel, 1995; Sidhu *et al.*, 2003), de ácidos grasos (Kumar y Parmar, 1997; Kaushik y Vir, 2000), o la variabilidad de su efecto insecticida (Kumar *et al.*, 2000). Con base en lo obtenido en la presente investigación, se propone elegir el peso de las semillas como criterio para la selección de árboles productores, ya que las concentraciones de azadiractín se han citado como mg kg^{-1} de semilla (Sidhu *et al.*, 2003). Además, el coeficiente de la variable peso por árbol muestra una baja dispersión (Cuadro 11).

Cuadro 11. Coeficiente de variación del peso de las semillas procedentes de India y Filipinas por árbol.

Número de árbol	Porcentaje Filipinas	Porcentaje India
1	29	39
2	27	36
3	26	34
4	26	24
5	26	24
6	25	23
7	23	23
8	22	23
9	22	23
10	21	22
11	20	21
12	19	20
13	19	19
14	19	18
15	18	18
16	18	18
17	18	17
18	17	17
19	17	17
20	17	16
21	16	16
22	16	15
23	14	15
24	14	14
25	13	13
26	13	11
27	12	11
28	12	10
29	11	9
30	10	8
General	26	26

Los árboles elegidos pueden ser reproducidos asexualmente por medio de micropropagación, lo que ha sido registrado con éxito (Gautam *et al.*, 1993; Joshi y Thengane, 1996; Chaturverdi *et al.*, 2004), o bien por el método de injerto, para acortar tiempos de producción, que también ha dado buenos resultados (Ovando, 2001).

CONCLUSIONES

La mejor procedencia de semillas de neem es la de la India; sin embargo, dada la gran variabilidad observada, la selección debe hacerse por árbol individual.

De las características estudiadas, el peso de la semilla es la variable propuesta para su selección, ya que el contenido de aceite se cita en función de éste.

Con base en la gran variabilidad existente en las características de las semillas, es posible llevar a cabo un programa de mejoramiento genético para *Azadirachta indica*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su reconocimiento al señor Heladio Reyes Cruz, representante de la Sociedad de Solidaridad Social, Ecosta Yutu Cuii, por las facilidades otorgadas para obtener el material vegetal utilizado en el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Boeke, S. J., M. G. Boersma, G. M. Alink, J. J. A. Van Loon, A. Van Huis, M. Dicke and I. M. C. M. Rietjens. 2004. Safety evaluation of neem (*Azadirachta indica*) derived pesticides. *J. of Ethnopharmacology* 94: 25-41.
- Chaturvedi, R., M. K. Razdan and S. S. Bhojwani. 2004. *In vitro* clonal propagation of an adult tree of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) by forced axillary branching. *Plant Science* 166: 501-506.
- Ermel, K. 1995. Azadirachtin content of neem seed kernels from different regions of the world. *In: H. Schmutterer* (Ed). *The neem tree, source of unique natural products for integrated pest management, medicine, industry and other proposes*. VCH, Weinheim, Germany. pp. 89-92.
- Furnier, G. R. 1997. Métodos para medir variación genética en las plantas. *In: J. Vargas H., B. Bermejo V. y T. F. Ledig.* (Eds). *Manejo de recursos genéticos forestales*. USDA-FS, FAO / SEMARNAP. México. pp. 23-36.
- Gautam, V. K., K. Nanda and S .C. Gupta. 1993. Development of shoots and roots in anther-derived callus of *Azadirachta indica* A. Juss.- a medicinal tree. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 34: 13-18.

- Isman, M. B. 1990. Insecticidal and antifeedant bioactivities of neem oils and their relationship to azadirachtin content. *J. Agric. Food Chem.* 38(6):1406-1411.
- Joshi, M. S. and S. R. Thengane. 1996. *In vitro* propagation of *Azadirachta indica* A. Juss. (neem) by shoot proliferation. *Indian Journal of Experimental Biology* 34: 480-482.
- Kaushik, N. and S. Vir. 2000. Variations in fatty acid composition of neem seeds collected from the Rajasthan state of India. *Biochem. Soc. Trans.* (28): 880-882.
- Kumar, A. R. V., J. Jayappa and K. Chandrashekhara. 2000. Relative insecticidal value: an index for identifying neem trees with high insecticidal yield. *Current Science*, Vol. 79(10): 1474-1478.
- Kurmar, J. and B. S. Parmar. 1997. Neem oil content and its key chemical constituents in relation to agro-ecological factors and regions of India. *Pesticide Res. J.* 9: 216-225.
- Montgomery, D. C. 2002. Diseños y análisis de experimentos. Ed. LIMUSA, México. pp. 557-567.
- Mordue L., A. J. and A. Blackwell. 1993. Azadirachtin: an update. *Insect Physiol.* 39: 903-924.
- Nepamuceno M., F., P. de la Garza L. L. y T. Marín H. 2000. El neem (*Azadirachta indica*), especie de reciente interés forestal en México. *In: Memoria Digital del 1er. Congreso Nacional de Reforestación. 8-10 de noviembre de 2000. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. Mex. s/p.*
- Osuna L., E. y R. Meza S. 2001. Evaluación de plantaciones de neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) establecidas en Baja California. *In: Memoria del XXX Aniversario del C. E. Todos Santos. Potencialidades y Manejo del neem. Baja California Sur, México. INIFAP. pp. 52-57.*
- Ovando C., M. 2001. Propagación del neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) por medio de injerto en la costa de Oaxaca. *In: Memoria del XXX Aniversario del C. E. Todos Santos. Potencialidades y Manejo del neem. Baja California Sur. INIFAP. México. pp. 21-31.*
- Qi, B., G. Gordh, G. Walter H. 2001. Effects of Neem-fed prey on the predacious insects *Harmonia conformis* (Boisduval) (Coleoptera: Coccinellidae) and *Mallada signatus* (Schneider) (Neuroptera: Chrysopidae). *Biological Control*, Vol. 22: 185-190.
- Reyes C., H. 2000. Cultivo del nim, opción comunitaria de control biológico. *In: del Amo. R., S. (Coord.): Lecciones del programa de acción forestal Tropical. SEMARNAP/ PROAFT A.C./CNEB/ P. y V. México pp. 191-212.*
- Sall, J., L. Creighton y A. Lehman. 2005. *JMP Start Statistics. A guide to statistics and data analysis using JMP and JMP in Software. Third Edition. SAS Institute INC. Thomson Brookscole, USA. 560 p.*

- Shumutterer, H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. Annum. Rev. Entomol. 35: 271-297.
- Sidhu O., P., J. Kumar and H. M. Behl. 2003. Variability in neem (*Azadirachta indica*) with respect to azadirachtin content. J. Agric. Food Chem. 51(4): 910-915.
- Singh, A., A. Chaudhury, P. S. Srivastava and M. Lakshmikumaran. 2002. Comparison of AFLPS and SAMPL markers for assessment of intra-population genetic variation in *Azadirachta indica* A. Juss. Plant Science 162: 17:25.
- Suresh, G., N. S. Narasimhan, S. Masilamani, P. D. Partho and G. Gopalakrihan. 1997. Antifungal fractions and compounds from uncrushed green leaves of *Azadirachta indica*. Phytoparasitica 25(1): 33-39.
- Steinhauer, B. 1999. Possible ways of using the neem tree to control phytopathogenic fungi. Plant. Res. and Development 50: 83-92.
- Talwar, G. P., P. Raghuvanshi, R. Misra, S. Mukherjee and S. Shah. 1997. Plant immunomodulators for termination of unwanted pregnancy and for contraception and reproductive health. Immunol. Cell Biol. 1(75): 190-192.
- Tewari, D. N. 1992. Monograph on neem (*Azadirachta indica* A. Juss.). International Book Distributors, Ltd. 9/3, Rojpur Road, Dehra Dun, India. 285 p.

CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES DE SOTOL (*Dasyliirion leiophyllum* Engelm. ex Trelease y *D. sereke* Bogler) FERTILIZADAS CON NITRÓGENO Y FÓSFORO

Jorge Vega Cruz¹, Alicia Melgoza Castillo² y
J. Santos Sierra Tristán²

RESUMEN

Dasyliirion leiophyllum y *D. sereke* (Nolinaceae) del estado de Chihuahua tienen importancia económica en la industria licorera, y en consecuencia se les somete a una fuerte explotación, por lo que es necesario desarrollar técnicas que permitan su propagación en vivero para el establecimiento de plantaciones. Los objetivos de este estudio fueron: determinar los efectos del pericarpio de la diáspora sobre la germinación y emergencia y los de la aplicación de fertilizantes durante la etapa de plántula. La semilla se recolectó en dos sitios ubicados en la entidad; se evaluó la germinación en condiciones de laboratorio con sustrato de papel y la emergencia en suelo de las diásporas con y sin el pericarpio. Se utilizaron cuatro niveles de nitrógeno y tres de fósforo. Cuando se eliminó el pericarpio alado, las dos especies tuvieron una germinación superior al 80% en laboratorio; mientras que en suelo fue alrededor de 30%; sin retirar dicha cubierta se registró una emergencia menor a 2%. En los primeros cinco meses de desarrollo no hubo respuesta a las dosis de fertilización. Las plantas de *D. leiophyllum* presentaron mayor producción de fitomasa, ya que resultó inferior a 0.05 g. Se definió interacción entre la fertilización y la especie, en la tasa de crecimiento relativo, aunque las diferencias estuvieron abajo de los 11 mg d⁻¹ en ambas taxa, no tienen relevancia práctica. La proporción parte aérea: raíz fue de 20.5 : 26.5 y 18.6 : 25.2 cm para *D. leiophyllum* y *D. sereke*, respectivamente.

Palabras clave: *Dasyliirion leiophyllum*, *D. sereke*, germinación, pericarpio, sotol, tasa de crecimiento.

Fecha de recepción: 23 de septiembre de 2004.

Fecha de aceptación: 16 de junio de 2006.

¹ Ex Becario CONACyT, Campo Experimental La Campana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP.

² Campo Experimental La Campana, CIRNOC-INIFAP. Correo-e: melgoza.alicia@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Dasyliirion leiophyllum and *D. sereke* (Nolinaceae) from Chihuahua state are important in the liquor industry and, consequently, are subject to an intense exploitation, thus, it is necessary to generate techniques that favour its nursery propagation in order to establish plantations. The purpose of this study was to determine the effect of the diaspore pericarp over germination and emergence, as well as of fertilization on the seedling stage. Seeds were collected from two places in the State; germination was assessed in laboratory over a paper layer and the diaspore emergence from the ground with and without the pericarp. Four nitrogen and three phosphorous levels were used. When the wing pericarp was removed, germination in both species was higher than 80 percent in the laboratory and around 30 percent in the soil, and without the removal of seed covers, emergence was lower than 2 percent. During the first five months there was no response to fertilizing doses. *D. leiophyllum* plants showed higher phytomass production but was even lower than 0.05 g. Interaction was confirmed between fertilization and the species in the relative growth rate; even though differences were lower than 11 mg d⁻¹ in both taxa, it has no practical relevance. The green part : root proportion was 20.5 : 26.5 for *Dasyliirion leiophyllum* and 18.6 : 25.2 cm for *D. sereke*.

Key words: *Dasyliirion leiophyllum*, *D. sereke*, germination, pericarp, sotol, growth rate.

INTRODUCCIÓN

En el norte de México las especies del género *Dasyliirion* (*Dasyliirion leiophyllum* Engelm. ex Trelease y *D. sereke* Bogler), de la familia Nolinaceae, conocidas como sotoles, son útiles al hombre como alimento, forraje, productos medicinales y material para elaborar diversos utensilios (Bell y Castetter, 1941; Bogler, 1994; Melgoza y Sierra, 2003; Olhagaray *et al.*, 2004; Tunnell y Madrid, 1988). Actualmente el interés por estas plantas se centra en la producción de la bebida alcohólica regional llamada "sotol" (SEP-CONACyT, 2001); sin embargo, otra posibilidad de uso es en la industria farmacéutica para la producción de inulina (Iñiguez-Covarrubias *et al.*, 2001). Así, para lograr un aprovechamiento sustentable, es importante conocer la biología de la planta, desde sus primeras etapas de crecimiento.

La reproducción sexual de los sotoles se realiza mediante diásporas, las cuales consisten en semillas cubiertas por un pericarpio alado. A la fecha se desconoce si en el manejo rutinario del germoplasma es necesario eliminar dicha cubierta, ya que con frecuencia los tejidos del fruto inhiben la germinación, lo cual es más evidente en siembras sobre papel, que las efectuadas en suelo (Camacho, 1992 y 1994).

Al respecto, Alanis *et al.* (1994) mencionan que podría ser necesario liberar del pericarpio a las semillas de *Dasyliirion longissimum* Lem. para que germinen, pues no obtuvieron emisión de la radícula cuando sembraron las diásporas sobre papel filtro.

Palma (2000) obtuvo valores de emergencia entre 72 y 98% para *Dasyliirion* spp. tratados con ácido sulfúrico. En el caso de las diásporas sin tratamiento, las pocas plántulas que lo hicieron se manifestaron hasta 31 días después de la siembra.

En el presente trabajo se entenderá por germinación el inicio del proceso de crecimiento de las plantas a partir de la semilla (Baskin y Baskin, 1998), ya que la emergencia se presenta cuando la plántula supera la superficie del suelo y está lista para subsistir por sí misma (Morales y Melgoza, 2003).

En el medio natural existen ciertos factores que impiden la germinación de una semilla y que están relacionados con la subsistencia de las especies en los ecosistemas (Auld, 1995); entre ellos se pueden citar: el letargo (Murdoch, 1999; Kalmbacher *et al.*, 1999), el vigor de semilla (Jones y Nelson, 1999), la temperatura (Susko *et al.*, 1999; Chachalis y Reddy, 2000), el fuego (Habrouk *et al.*, 1999) y las características del suelo (Gallegos del Trejo, 1997; Wuest *et al.*, 1999).

Flores y Jurado (1998) citan que cuando la germinación sucede, la vida del vegetal comienza y la etapa de plántula se torna incierta hasta que alcanza un estado, edad o tamaño, acumula suficiente tejido fotosintético y desarrolla un adecuado sistema radicular para sobrevivir en condiciones desfavorables. Por otra parte, al emerger la planta en campo, el establecimiento depende de diversos elementos, especialmente agua y nutrimentos (Baskin y Baskin, 1998); si bien, las especies de lento crecimiento suelen presentar una menor respuesta a la adición de estos últimos (Coomes y Grubb, 2000), la fertilización es utilizada para incrementar dicha respuesta y la producción de biomasa (Scheiner *et al.*, 2000; Cruz *et al.*, 2003; Schoellhorn y Richardson, 2005).

En el presente estudio se plantearon las siguientes hipótesis: las semillas de sotol están provistas de una cubierta que impone letargo en la germinación, pero con la manipulación de nitrógeno y fósforo aumenta la tasa de emergencia y el crecimiento relativo. Por ello, los objetivos fueron cuantificar la germinación de las semillas, la emergencia y caracterizar el crecimiento de las plántulas de dos especies de *Dasyliirion* tratadas con diferentes dosis de fertilización, en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de *Dasyliirion sereke* se recolectó en el sitio Bif 22 de Ciudad Madera y el de *D. leiophyllum* en el Campo Experimental La Campana, sitio Cb(B) 23

(COTECOCA, 1978); se cortó la inflorescencia madura y se introdujo en un costal, para desprender de forma manual las diásporas, que se almacenaron a temperatura ambiente por aproximadamente año y medio en bolsas de papel, antes de realizar las siembras.

Germinación

Se diseñó un experimento factorial que incluyó las dos especies de sotol en combinación con dos condiciones de la diáspora (intacta y sin pericarpio) (Figura 1). La eliminación de la cubierta externa se hizo frotando, de manera suave, el material recolectado entre dos hojas de papel lija fino y así obtener las semillas.

La unidad experimental consistió de una caja Petri con papel filtro como sustrato, sobre el que se sembraron 30 diásporas. Para cada uno de los cuatro tratamientos se efectuaron cinco repeticiones, distribuidas en un diseño experimental completamente al azar, en las charolas de una germinadora que se mantuvo a $23.5 \pm 0.8^\circ\text{C}$, con una humedad relativa de $34.6 \pm 1.4\%$, y un fotoperíodo de 16 h luz.

Se consideró una diáspora germinada cuando emitía una radícula o epicótilo que tuviera al menos 1 mm de longitud. Diariamente, durante 15 días, se cuantificó el número de individuos que cumplían con esa condición, retirándolos de las cajas después de cada conteo.

Emergencia

La unidad experimental consistió en una maceta de nueve centímetros de diámetro por seis de altura en la que se colocaron 30 semillas cubiertas con una capa de suelo migajón arenoso de un milímetro de grosor.

El diseño de tratamientos y número de repeticiones fue el mismo que en la fase anterior; las siembras permanecieron a capacidad de campo del 30 al 25 de noviembre de 2003 en un invernadero con temperatura máxima diaria de $29.0 \pm 0.6^\circ\text{C}$ y mínima de $20.4 \pm 0.9^\circ\text{C}$.

Se cuantificó una plántula cuando alcanzó 3 cm de altura; una vez al día se realizaron observaciones para contar los individuos con esta característica y enseguida se eliminaron.

Efecto de la fertilización

En las dos especies de sotol se evaluó la aplicación de cuatro niveles de nitrógeno (0, 40, 80 y 120 kg/ha) en combinación con tres de fósforo (0, 40 y 80 kg/ha).

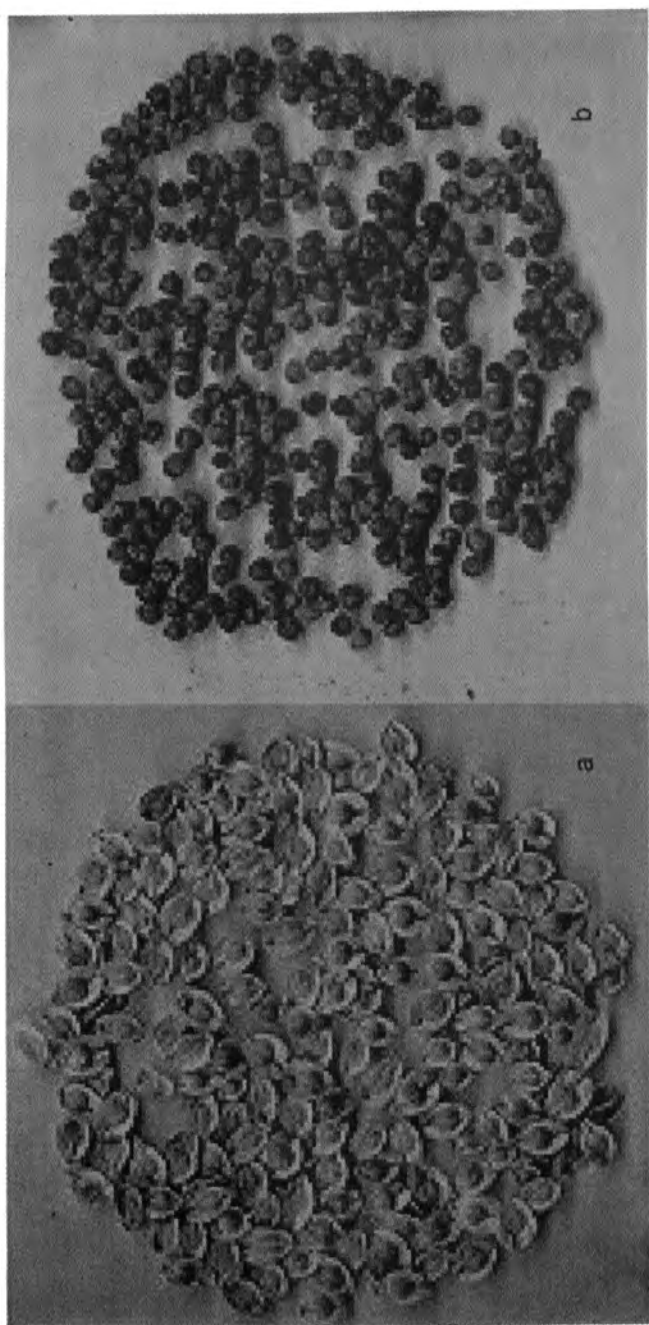


Figura 1. Diáspora (a) y semilla de sotol (b).

Los fertilizantes se prepararon con sulfato de amonio $[(NH_4)_2SO_4]$ en presentación granular y ácido fosfórico (H_3PO_4) líquido con los cuales, en los casos que así lo requirieron, se complementó la fórmula comercial 18-40-00. Todos los productos fueron diluidos en agua. La cantidad utilizada se calculó considerando que las unidades experimentales fueron macetas de 20 cm² de superficie y 15 cm de altura, llenas con un sustrato compuesto por 75% de arena y 25% de suelo migajón arenoso (Vol/Vol). En cada una de ellas se tenía una plántula de sotol de mes y medio de edad, cuya presencia se aseguró mediante la siembra de 15 semillas, para eliminar posteriormente los individuos sobrantes.

Para cada una de las 12 combinaciones de fertilización por especie se hicieron 10 repeticiones.

El experimento se realizó del 10 de julio al 20 de noviembre del 2003, periodo en el que la temperatura máxima promedio fue de $32.5 \pm 0.9^\circ C$, la mínima de $21.1 \pm 0.6^\circ C$ y se mantuvo el suelo a capacidad de campo.

Una vez al mes durante 60 días después de la fecha de fertilización, se seleccionaron al azar cinco macetas por tratamiento y por especie. Las cinco plantas se extrajeron, se separó la raíz de la parte aérea, se midió la longitud de las hojas y de la raíz; cada parte se depositó en bolsas con su correspondiente identificación para secarlas en un horno RIOSSA[®] a $60^\circ C$ a peso constante durante 24 h y por último se pesaron en una balanza analítica SARTORIUS[®].

Con los pesos totales obtenidos en ambas fechas y de acuerdo con Hunt (1990) se determinó la tasa de crecimiento relativo (TRC):

$$TRC = (lnw_2 - lnw_1)/(t_2 - t_1)$$

Donde:

w_1 = Peso en tiempo t_1

w_2 = Peso en el tiempo t_2

El diseño del experimento consistió en un factorial $2 \times 2 \times 4 \times 3$ (dos especies, dos fechas, cuatro niveles de fertilización nitrogenada y tres de fosfórica).

Análisis estadístico

En cada uno de los tres experimentos y por variable de respuesta, se llevó a cabo un análisis de varianza mediante el paquete SAS (1992); posteriormente, de acuerdo con la significancia de las interacciones, se efectuaron las comparaciones de medias por el método SNK (Steel y Torrie, 1988) con una alfa

de 0.05; en los estudios de germinación y emergencia se calculó el valor acumulado de la primera y se transformó al arcoseno antes de hacer los estudios estadísticos (Steel y Torrie, 1988).

Las agrupaciones de medias correspondieron a las obtenidas con el uso de la transformación, mientras que los valores presentados en cuadros y gráficas son los promedios de los porcentajes.

RESULTADOS

Germinación

Con las diásporas intactas de *Dasyliirion leiophyllum* y *D. sereke* no hubo germinación en ninguna de las dos; en cambio cuando se escarificaron, alcanzó más del 80% sin diferencias significativas entre especies. La emisión de la radícula se inició a partir del cuarto día, con una máxima respuesta en el periodo comprendido de los seis a los 12 días después de la siembra (Figura 2).

Emergencia

Los valores obtenidos fueron estadísticamente diferentes para los tratamientos, pero no entre especies, lo que resultó de la eliminación del pericarpio; las diásporas intactas tuvieron una emergencia menor de 2%; las que carecían de dicha cubierta, un poco más de 30% en ambas taxa (Figura 3). Se observó una respuesta ligeramente más rápida en *D. sereke*, pero en *D. leiophyllum* se registró una emergencia acumulada más alta en dos puntos porcentuales.

Efecto de la fertilización

Referente al peso alcanzado por plántulas de sotol con distintas dosis de fertilización, no hubo efecto de los tratamientos en ambas evaluaciones, sólo diferencias entre especies. Las plántulas de *Dasyliirion leiophyllum* tuvieron 0.1861 y 0.4356 g, mientras que *D. sereke* 0.1687 y 0.3882 g, en la primera y segunda fecha de muestreo respectivamente.

Las tasas de crecimiento relativo denotaron un crecimiento lento, con interacción entre tratamiento y especie; sin embargo, en términos prácticos las diferencias son pequeñas, pues los tratamientos más contrastantes no superan los 0.01 g d^{-1} en ambos taxones (cuadros 1 y 2).

La proporción parte aérea: raíz fue de $20.5 \pm 0.46 : 26.5 \pm 0.70$ cm para *D. leiophyllum*, y *D. sereke* $18.6 \pm 0.45 : 25.2 \pm 0.69$ cm. Generalmente, plantas con lento crecimiento presentan mayor proporción de raíz que los valores observados (Lambers y Poorter, 1992; Poorter y Farquar, 1994).

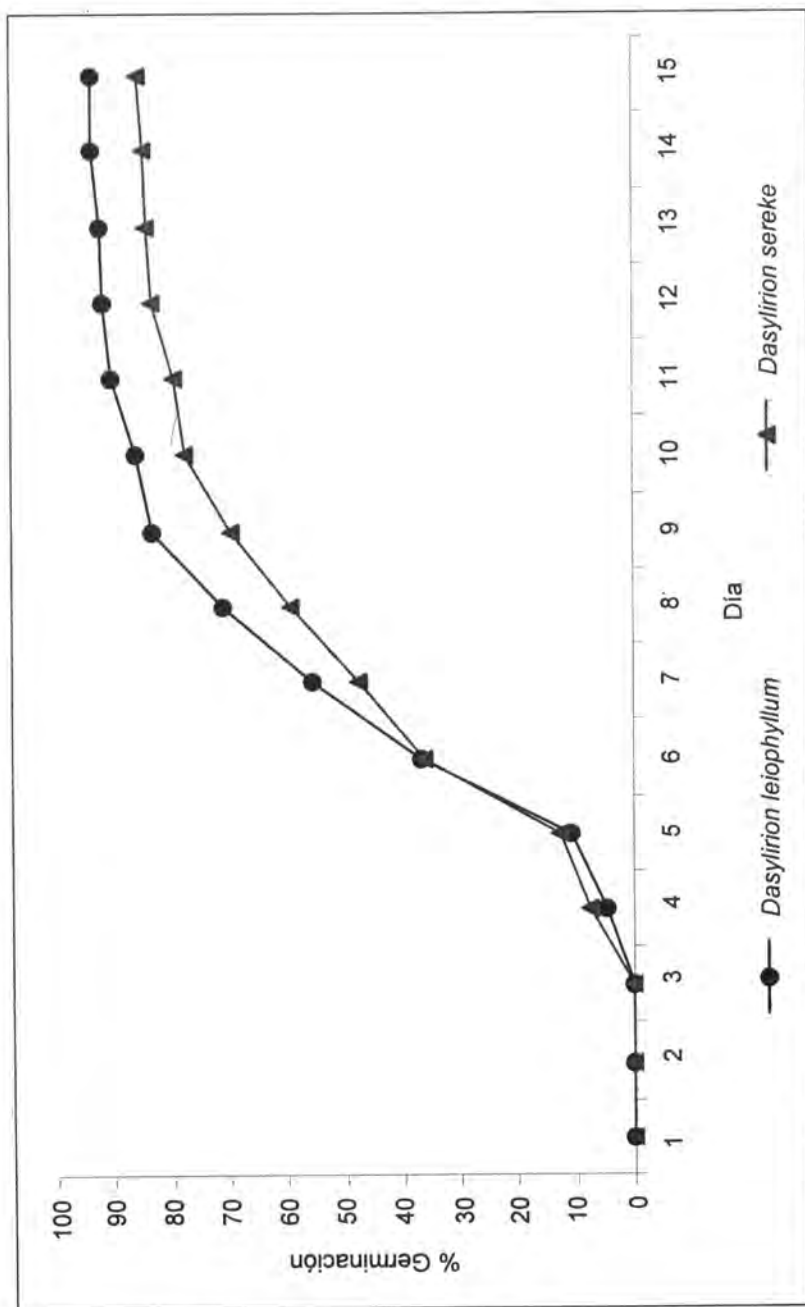


Figura 2. Germinación acumulada de las semillas en dos especies de sotol sembradas sobre papel en laboratorio.

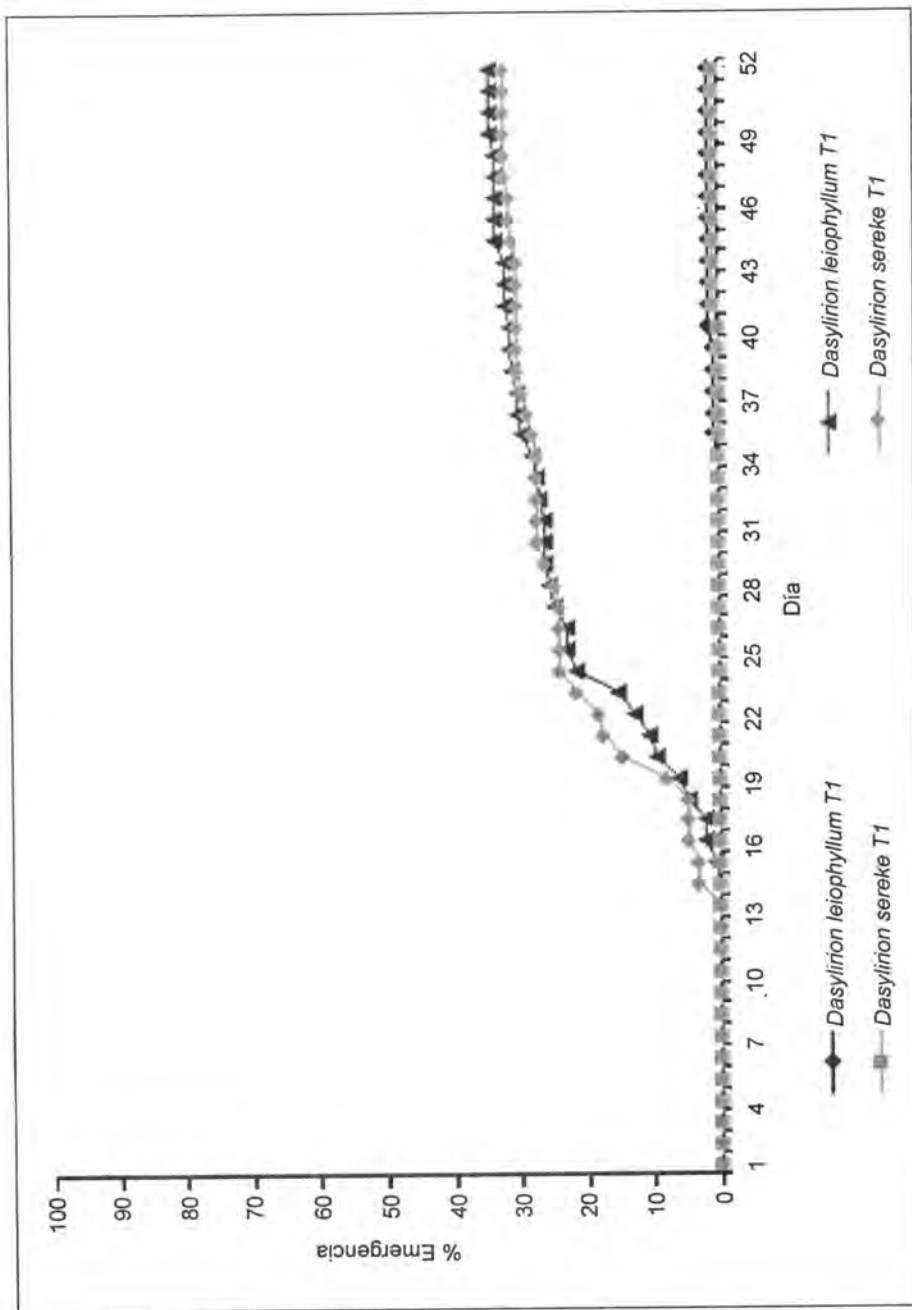


Figura 3. Emergencia (%) acumulada de dos especies de sotol con diásporas intactas (T1) y sin pericarpio (T2) en invernadero.

Cuadro 1. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de plántulas de *Dasyliirion leiophyllum* a los 105 días en invernadero con relación a la fertilización aplicada.

Nitrógeno kg ha ⁻¹	Fósforo kg ha ⁻¹	TCR(g d ⁻¹)
0	0	0.0292 a*
0	40	0.0287 ab
0	80	0.0256 ab
40	0	0.0172 b
40	40	0.0262 ab
40	80	0.0189 b
80	0	0.0275 ab
80	40	0.0207 b
80	80	0.0302 a
120	0	0.0227 ab
120	40	0.0265 ab
120	80	0.0161 b

Las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($P > 0.05$).

Cuadro 2. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de plántulas de *Dasyllirion sereke* después de 105 días en invernadero con relación a la fertilización aplicada.

Nitrógeno kg ha ⁻¹	Fósforo kg ha ⁻¹	TCR(g d ⁻¹)
0	0	0.0230 b*
0	40	0.0242 ab
0	80	0.0220 b
40	0	0.0216 b
40	40	0.0220 b
40	80	0.0257 ab
80	0	0.0220 b
80	40	0.0315 a
80	80	0.0201 b
120	0	0.0276 ab
120	40	0.0199 b
120	80	0.0264 ab

Las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($P > 0.05$).

DISCUSIÓN

Con base en los resultados presentados para *Dasyllirion leiophyllum* y *D. sereke*, se confirma lo citado por Alanis *et al.* (1994) en cuanto a que podría ser necesario liberar del pericarpio a las semillas para que ocurran altos porcentajes de germinación. Lo anterior es consistente con lo obtenido por Palma (2000) al aplicar tratamientos con ácido sulfúrico en diásporas de *Dasyllirion* spp. Las semillas de las especies estudiadas mostraron alta velocidad de germinación (Morales y Melgoza, 2003), lo que indica que fisiológicamente están listas para el restablecimiento de poblaciones naturales.

Contrario a lo registrado por Camacho (1992) para *Schinus molle* L., la germinación de los sotoles fue menor en las siembras realizadas en suelo que en las efectuadas en laboratorio; aunque hubo concordancia con lo observado por dicho autor, tanto en *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., como en *Pinus greggii* Engelm., la menor emergencia en suelo se atribuye al ataque de los hongos existentes en el sustrato.

El pericarpio que recubre la semilla de *Dasyliroyon* spp., es posible que funcione como un mecanismo de letargo y que forme parte de una estrategia de supervivencia del sotol. Baskin y Baskin (1998) mencionan que las especies que se desarrollan en ambientes adversos integran bancos de semilla en el suelo que propician una distribución relativamente uniforme de sus semillas a través del tiempo, con el fin de que exista material viable en el momento que exista disponibilidad de agua, luz o nutrientes.

A pesar de los altos valores de germinación, en campo se observan problemas de establecimiento y supervivencia del sotol, debido al forrajeo del ganado, la fauna silvestre, así como a las condiciones extremas de sequía.

Las tasas de crecimiento relativo en ambas especies son bajas, característica común en plantas bajo condiciones naturales inciertas (Grime y Hunt, 1975).

Sin bien son numerosas las evidencias de los beneficios de los fertilizantes sobre los vegetales, también se han verificado casos en que no ocurre así (Miller y Hawkins, 2003; Schoellhorn y Richardson, 2005). Haq y Mallarino (2000) mencionan que, aun cuando hay diferencias estadísticas y biológicas, esta práctica no siempre es rentable. La falta de respuesta a la fertilización puede resultar de la variabilidad inherente a las especies (Lambers y Poorter, 1992), ya que el sotol es una planta que aún no ha sido domesticada. Anchondo y Olivas (2002) citan que en plántulas de *Dasyliroyon* sp. de la misma edad, existe una variación de 16 a 80 hojas, área foliar de 230.07 a 2965.02 cm², peso seco de la parte aérea de 7.66 a 149.33 g y peso seco de raíz de 2.18 a 15.68 g.

Otros factores que evitarían la detección de los efectos de adicionar fertilizantes son el tipo de suelo, la temperatura, la etapa del crecimiento, entre otras. A pesar de que se cuidó que no hubiesen escurrimientos, es factible que el tipo de suelo empleado haya ocasionado una lixiviación de los químicos aplicados (en particular de nitrógeno), y en consecuencia una falta de respuesta del sotol. Sin embargo, se utilizó suelo arenoso porque facilita la extracción de raíces.

Por otra parte, la ausencia de una simbiosis micorrízica entre el sustrato y la raíz del sotol, debido al tipo de suelo utilizado, pudo haber ocasionado la falta de respuesta; además, es común que tal asociación se presente en plantas que

se desenvuelven en ambientes infértiles y rocosos (Chapin, 1980; Aerts y Chapin, 2000), ya que la micorriza favorece una mejora en la absorción de nutrientes por la planta, particularmente de fósforo (Merryweather y Fitter 1996; Schachtman *et al.*, 1998), y un incremento en la captación de CO₂ (Pimienta-Barrios *et al.*, 2001).

La forma de presentación de los fertilizantes empleados y las temperaturas manejadas, en relación a la disponibilidad de éstos, a su vez inciden en la nula respuesta del sotol a la fertilización, como lo han consignado diversos autores en estudios similares (Cruz *et al.*, 1993; Boukcim y Plassard, 2003). Además, dicho efecto sobre las tasas de crecimiento relativo es susceptible de expresarse en futuras etapas de crecimiento, como sucede en otros taxa (Andersson y Lundegardh, 1999).

Las plantas desérticas suelen presentar raíces poco profundas, como parte de una estrategia para aprovechar las lluvias ligeras que reciben las regiones áridas y semiáridas (Nobel, 1988; Nobel *et al.*, 2002). Este modelo de crecimiento se ha observado en ciertas plantas cuya fotosíntesis es del tipo del metabolismo del ácido crasuláceo (CAM) (Nobel, 1988); son individuos que muestran asimilación nocturna de CO₂, la cual es influenciada, principalmente, por la temperatura (Eickmeier y Adams, 1978; Nobel *et al.*, 2002); diversas especies vegetales CAM alcanzan su valor óptimo a temperaturas inferiores a las usadas en este trabajo (Eickmeier y Adams, 1978; Pimienta-Barrios *et al.*, 2001; Nobel *et al.*, 2002) y tienen distintas fases de fijación de carbono que promueven un incremento en la demanda de nitrógeno del suelo (Kluge y Ting, 1978; Spreitzer, 1993).

Si el sotol posee características CAM es posible que las temperaturas utilizadas le hayan ocasionado una disminución en la tasa de asimilación nocturna de CO₂, y en consecuencia, una falta de expresión en su capacidad de asimilación de nutrientes y de producción de biomasa; sin embargo, no se han realizado estudios en este sentido.

CONCLUSIONES

Dasyliion leiophyllum y *D. sereke* presentan semillas con altos porcentajes de germinación desde la madurez del fruto, por lo que ambas pueden reproducirse en vivero y posteriormente utilizarse para el restablecimiento de sus poblaciones.

La eliminación del pericarpio de las diásporas mejora la emergencia.

La fertilización con N y P no tuvo impacto en la producción de fitomasa total, ni en la tasa de crecimiento relativo del sotol, en los primeros cinco meses de crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al CONACyT por el financiamiento de este trabajo como parte del proyecto "Taxonomía, ordenación y análisis de la distribución espacial del sotol (*Dasyllirion* spp.) en el estado de Chihuahua" clave 2000406010, dirigido por el Dr. J. Santos Sierra Tristán. A la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH por permitir el uso del invernadero.

REFERENCIAS

- Aerts, R. and F. S. Chapin III. 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *In*: Fitter H. A. and D. G. Raffaelli. (Eds.). *Advances in Ecological Research*. Academic Press, San Diego, CA. pp 1-67.
- Alanís F., G. J., D. Rocha, L. Marroquín de la F., J. S. 1994. Datos fenológicos de *Dasyllirion longissimum* en un jardín botánico. *Cactáceas y Suculentas de Mexicanas* 39 (2): 43-50.
- Anchondo N., J. A. y J. M. Olivas G. 2002. Avances de investigación del cultivo del sotol (*Dasyllirion* spp.) en Chihuahua. *Resultados y Avances de la Investigación en el Estado de Chihuahua*. Pub. Especial No.9. Campo Experimental Delicias. CIRNOC-INIFAP-SAGARPA. 197 pp.
- Andersson T., N. and B. Lundegardh. 1999. Growth of field horsetail (*Equisetum arvense*) under low light and low nitrogen conditions. *Weed Sci.* 47:41-46.
- Auld T., D. 1995. Soil seedbank patterns of four trees and shrubs from Australia. *J. Arid Environ.* 29: 33-35.
- Baskin C., C. and J. M. Baskin. 1998. *Seeds, ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. New York, NY. 1243 pp.
- Bell W., H. and E. F. Castetter. 1941. *Ethnobotanical studies in the American Southwest*. Vol. VII. The utilization of yucca, sotol and beargrass by the aborigines in the American Southwest. New México State University. Bull. No. 372. Albuquerque, NM. 74 p.
- Bogler D., J. 1994. *Taxonomy and phylogeny of Dasyllirion (Nolinaceae)*. Disertación doctoral. Universidad de Texas. Austin, TX. 583 p.
- Boukcim, H. and C. Plassard. 2003. Juvenile nitrogen uptake capacities and root architecture of two open-pollinated families of *Picea abies*. Effects of nitrogen source and ectomycorrhizal symbiosis. *Plant Physiol.* 160: 111-121.
- Camacho M., F. 1992. Manifestación de la dormición química en siembras de vivero. *In*: Memoria de la Reunión Científica Forestal y Agropecuaria del Campo Experimental Coyoacán. INIFAP. Publicación Especial Número I. SARH. México. pp. 298-309.
- Camacho M., F. 1994. Dormición de semillas; causas y tratamientos. Ed. Trillas. México. 125 p.

- Chachalis, D. and K. N. Reddy. 2000. Factors affecting seed germination and seedling emergence. *Weed Sci.* 48: 212-216.
- Chapin III S., F. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 11: 233-260.
- Coomes D., A. and P. J. Grubb. 2000. Impacts of root competition in forests and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. *Ecol. Monogr.* 70: 171-207.
- Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1978. Comisión técnico consultiva para la determinación regional de los coeficientes de agostadero. Chihuahua. Subsecretaría de Ganadería, SARH. 151 p.
- Cruz C., S. H. Lips and M. A. Martins-Loucao. 1993. The effect of nitrogen source on photosynthesis of carob at high CO₂ concentrations. *Plant Physiol.* 89: 552-556.
- Cruz, C., L. Herman and M. A. Martins-Loucao. 2003. Nitrogen use efficiency by a slow-growing species as affected by CO₂ levels, root temperature, N source and availability. *Plant Physiol.* 160: 1421-1429.
- Eickmeier W., G. and M. S. Adams. 1978. Gas exchange in *Agave lecheguilla* Torr. (Agavaceae) and its ecological implications. *The Southwestern Naturalist* 23: 473-486.
- Flores, J. and E. Jurado. 1998. Germination and early growth trials of 14 plant species native to northern Mexico. *The Southwest Naturalist.* 43: 40-46.
- Gallegos del T., A. 1997. La aptitud agrícola de los suelos: la pedagogía aplicada a las actividades agropecuarias. Ed. Trillas. México. 114 p.
- Grime J., P. and R. Hunt. 1975. Relative growth-rate: its range and adaptive significance in a local flora. *J. Ecol.* 63: 393-422.
- Habrouk, A., J. Retana and J. M. Espelta. 1999. Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. *Plant Ecol.* 145: 91-99.
- Haq M., U. and A. P. Mallarino. 2000. Soybean yield and nutrient composition as affected by early season foliar fertilization. *Agron. J.* 92: 16-24.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Unwin Hyman. Londres, UK. 451 p.
- Iñiguez-Covarrubias, G., R. Díaz-Teres, R. Sanjuán-Dueñas, J. Anzaldo-Hernández and R. M. Rowell. 2001. Utilization of by-products from the industry. Part 2: potential value of *Agave tequilana* Weber azul leaves. *Bioresource Technology.* 77: 101-108.
- Jones T., A. and D. C. Nelson. 1999. Intrapopulation genetic variation for seed dormancy in India ricegrass. *J. Range Manage.* 52: 646-650.
- Kalmbacher R., S., S. H. West and F. G. Martin. 1999. Seed dormancy and aging in *atra paspalum*. *Crop Sci.* 39: 1847-1852.
- Kebreab, E. and A. J. Murdoch. 1999. A model of the effects of a wide range of constant and alternating temperatures on seed germination of four *Orobanche* species. *Ann. Bot.* 84: 549-557.

- Kluge, M. and I. P. Ting. 1978. Crassulacean Acid Metabolism. Analysis of an Ecological Adaptation. Springer-Verlag. Berlin. 500 p.
- Lambers, H. and H. Poorter. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.* 23: 187-261.
- Melgoza C., A. y J. S. Sierra T. S. 2003. Contribución al conocimiento y distribución de las especies de *Dasyliirion* spp. (Sotol) en Chihuahua, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 28 (93): 25-40.
- Merryweather, J. and A. Fitter. 1996. Phosphorous nutrition of an obligately mycorrhizal plant treated with the fungicide benomyl in the field. *New Phytologist* 132: 307-311.
- Miller B., D. and B. J. Hawkins. 2003. Nitrogen uptake and utilization by slow- and fast-growing families of interior spruce under contrasting fertility regimes. *Can. J. For. Res.* Vol. 33: 950-959.
- Morales N., C. R. y A. Melgoza C. 2003. Uso de tratamientos químicos para mejorar la emergencia de semillas en pastos. Folleto Técnico No. 7. Campo Exp. La Campana. CIRNOC-INIFAP. Chihuahua, Chih. 15 p.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental Biology of Agaves and Cacti. Cambridge University Press. New York, NY. 270 p.
- Nobel P., S., E. Pimienta-Barrios, J. Z. Hernández and B. C. Ramírez-Hernández. 2002. Historical aspects and net CO₂ uptake for cultivated Crassulacean acid metabolism plants in Mexico. *Annals of Applied Biology.* 140:133-142.
- Olhagaray R., E. C., E. Esparza Ch., y F. Vega S. 2004. Producción y comercialización de licores de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) en Durango, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 29 (95): 83-89.
- Palma J., I. 2000. Bases para la propagación del sotol (*Dasyliirion* spp.) via *in vitro* y por semilla. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. UACH. Cd. Delicias, Chih. 89 p.
- Pimienta-Barrios, E., C. Robles-Murguía and P. S. Nobel. 2001. Net CO₂ uptake for *Agave tequilana* in a warm and a temperate environment. *Biotropica.* 3:312-318.
- Poorter, H. and G. D. Farquhar. 1994. Transpiration, intercellular carbon dioxide concentration and carbon-isotope discrimination of 24 wild species differing in relative growth rate. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 507-516.
- Statistical Analysis System. 1992. User's Guide: Procedures statics. SAS Institute Inc., Cary, NC., USA. 1605 p.
- Schachtman D., P. R. J. Reid and S. M. Ayling. 1998. Phosphorous uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116: 447-453.
- Scheiner J., D., F. H. Gutiérrez-Boem and R. S. Lavrado. 2000. Root growth and phosphorus uptake in wide- and narrow-row soybeans. *J. Plant Nutr.* 23: 1241-1249.

- Schoellhorn, R. and A. A. Richardson. 2005. Warm climate production guidelines for *Agave*. http://hort.ifas.ufl.edu/floriculture/crops/Agave_ENHFLO4-007.pdf (15 de julio de 2005).
- SEP-CONACyT. 2001. Prioridades del sector agropecuario y forestal para la formulación de proyectos integrales. Compilación. COFUPRO. México, D. F. 158 p.
- Spreitzer J., R. 1993. Genetic dissection of Rubisco structure and function. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 44: 411-436.
- Steel R., G. and J. H. Torrie. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 1a. Ed. McGraw-Hill. México. 354 p.
- Susko D., J., J. P. Mueller and J. F. Spears. 1999. Influence of environmental factors on germination and emergence of *Pueraria lobata*. *Weed Sci*. 47: 585-588.
- Tunnell, C. and E. Madrid. 1988. Making and taking sotol in Chihuahua and Texas. *In*: Hollander A., R. Barlow, J. McGillivray and D. Schmidly (Eds.). Third Symposium on Resources of the Chihuahua Desert Region. Alpine, Texas. pp.145-160.
- Wuest S., B., S. L. Albrecht and K. W. Skirvin. 1999. Vapor transport vs. seed-soil contact in wheat germination. *Agron. J*. 91: 783-787.

TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DE DOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE MADERA DE *Populus sp.* EN CASTILLA-LEÓN (ESPAÑA)

Eduardo López Senespleda¹, Yolanda Ambrosio Torrijos²
y Santiago Vignote Peña³

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos de un estudio comparado de tiempos y rendimientos de dos sistemas aplicados en tres cortas de masas de *Populus sp.* (chopo) situadas en Castilla-León (España). El método de aprovechamiento fue de madera larga o fuste entero. Se trabajó con motosierristas para el apeo y procesado de la madera, así como con palas cargadoras adaptadas con una grapa frontal para el movimiento de fustes y trozas. La técnica de estudio correspondió a la de cronometraje continuo. Se desarrollaron ecuaciones predictivas de tiempos y rendimientos para la elaboración y saca de la madera. Los modelos obtenidos se utilizarán para planificar y predecir tanto los rendimientos, como los costos en cortas similares, distinguiendo por superficie aprovechada (menor de 1 ha y entre 10 y 15 ha). Los parámetros explicativos con mayor repercusión en el rendimiento del apeo y procesado fueron la clase diamétrica ($CDiam$) y la altura de la primera rama viva o altura de poda (h_{1RV}); en la saca de la madera, los más importantes resultaron ser la distancia recorrida (d_{recon}) y el número de fustes o trozas (Nf o Nt). La realización de cargas incompletas supone reducciones muy grandes del rendimiento, lo que debe evitarse mediante una adecuada planificación del manejo de la especie; con base en lo anterior, los resultados aquí reunidos pueden ser una buena referencia.

Palabras clave: Aprovechamiento forestal, Castilla-León, chopo, ecuación de tiempos, modelo de rendimiento, *Populus*.

Fecha de recepción: 24 de agosto de 2005.

Fecha de aceptación: 14 de junio de 2006.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), Centro de Investigación Forestal (CIFOR).
Correo-e: elopez@inia.es

² Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

³ Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

ABSTRACT

The outcome of a time and productivity study of two organization schedules applied over three poplar tree (*Populus* sp.) fellings in Castilla-Leon (Spain) is presented in this paper. The harvesting system was longwood or full tree. With the aid of forest operators for felling and timber processing, and log loaders for stems and logs hauling field work was made. To predict time and productivity of poplar harvesting, different equations were developed, which were constructed through cumulative timing data. Both manual felling and hauling off by log loader are analyzed. The equations will be used to organize and predict productivity and cost in similar felling, according to the forest harvesting size (less than 1 ha or between 10 to 15 ha). The most important explanatory variables for cutting and timber processing productivity are diameter class (C_{diam}) as well as first living branch height or pruning height (h_{1RV}). For the extraction of timber, the most relevant parameters are covered distance (d_{recorr}) and stem/log number. Incomplete loads means great productivity loss, which becomes a serious problem in forest harvesting. A correct planning and organization in this sense might be useful to solve it. These results may be a first approach to productivity models for poplar fellings, and can be a good reference for management planning of this species.

Key words: Forest harvesting, Castilla-León, poplar, time equations, productivity models, *Populus*.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de *Populus* han tenido un crecimiento continuo desde que a mediados del siglo XX, la Administración Pública comenzó a establecerlas en Castilla y León, ya que representan una fuente de ingresos para la población y de materia prima para el sector industrial maderero, así como una alternativa a ciertos cultivos agrícolas excedentes o con producción marginal. En el momento actual, la Comunidad Autónoma de Castilla y León ocupa el primer lugar de España en superficie dedicada a producir especies del género *Populus*, con valores superiores a 45,000 ha (46% del total nacional), donde León, Palencia y Zamora ocupan los tres primeros lugares con 33.30, 15.30 y 12.20% de la superficie de Castilla y León, respectivamente (Rueda, 1998). Estas cifras confirman la importancia de este tipo de plantaciones y sus perspectivas ante la política agraria comunitaria de sustitución de algunos cultivos.

Una investigación de tiempos es un análisis pormenorizado de la distribución del uso de dicho factor en las diversas actividades que componen un esquema de operación concreto, incluidas las ajenas al objetivo principal, pero efectuadas durante el mismo periodo (pausas, incidentes, etc). Estos estudios y su

formulación matemática provienen de la economía y la organización del trabajo, que posteriormente se aplicaron al ámbito forestal como una herramienta de aproximación y mejoramiento de los métodos de aprovechamiento; así como en la elaboración de tarifas y cuadros de precios. Los principales procedimientos involucrados son el "cronometraje discontinuo", en el que transcurrido una fracción de tiempo (por ejemplo un minuto), se registra la operación en ejecución y el "cronometraje continuo" en el que se anota el lapso exacto que dura cada acción de un ciclo productivo (Tolosana *et al.*, 2000).

Para las cortas finales en masas de chopo no existen modelos de tiempos y rendimientos; sólo hay referencias a casos concretos como el de una "chopera" segoviana en terreno llano y con árboles de 0.8 m^3 en que el apeo, desramado y trozado tuvieron un rendimiento de $26 \text{ m}^3/\text{jornada}$ y operario (López, 2003).

En el Cuadro 1 se proporcionan datos citados por Tolosana *et al.* (2000) para especies de *Pinus* en montes cuyas condiciones fisiográficas eran similares a las de este estudio.

Cuadro 1. Rendimientos para especies de *Pinus* en condiciones fisiográficas y de volúmenes unitarios similares.

Operaciones y referencia	Tipo de corta	Especie	Condiciones	Rendimientos
Apeo y desrame	Cortas finales de aclareo sucesivo	<i>Pinus sylvestris</i> L.	P=10%; Vu=1 m ³	51 m ³ /jornada operario
			P=25%; Vu=1.8 m ³	60 m ³ /jornada operario
			P=35%; Vu=2.5 m ³	68 m ³ /jornada operario
Apeo, desrame y trozado (Centro de Biomasa para la Energía)	Corta a hecho	<i>Pinus pinaster</i> Ait.	V _{ext} =260 m ³ ha ⁻¹	14.3 m ³ hp ⁻¹
	Corta a hecho	<i>Pinus pinaster</i> Ait.	Vu = 1 m ³ P = 1-5%	27 m ³ hp ⁻¹

P = pendiente (%); V_{ext} = Volumen extraído (m³ha⁻¹); Vu = Volumen unitario (m³); Hp = hora productiva.

Los objetivos del presente trabajo consistieron en identificar los factores que más influyen en el rendimiento y desarrollar modelos de tiempos y rendimientos a fin de proporcionar una herramienta de planificación que contribuya a mejorar la gestión de los aprovechamientos de *Populus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en tres plantaciones de *Populus* sp. situadas en Vilecha (León), Duratón (Segovia) y Sta. Marta de Tera (Zamora). Todas son plantaciones homogéneas a raíz profunda del clon I-214, cuyas densidades varían entre 300 pies ha⁻¹ (León) y los 500 pies ha⁻¹ (Segovia). Los diámetros medios se registraron entre la clase diamétrica (CD) 30 cm (León y Segovia) y 35 cm (Zamora).

Las tres áreas se separaron en dos tipos de aprovechamiento, en función de la superficie, sus características y medios utilizados (cuadros 2 y 3). El criterio diferenciador fue la extensión del área aprovechada y la organización del aprovechamiento en el que la carga se hizo a lo largo de la pista, o en un "cargadero" (zona de carga).

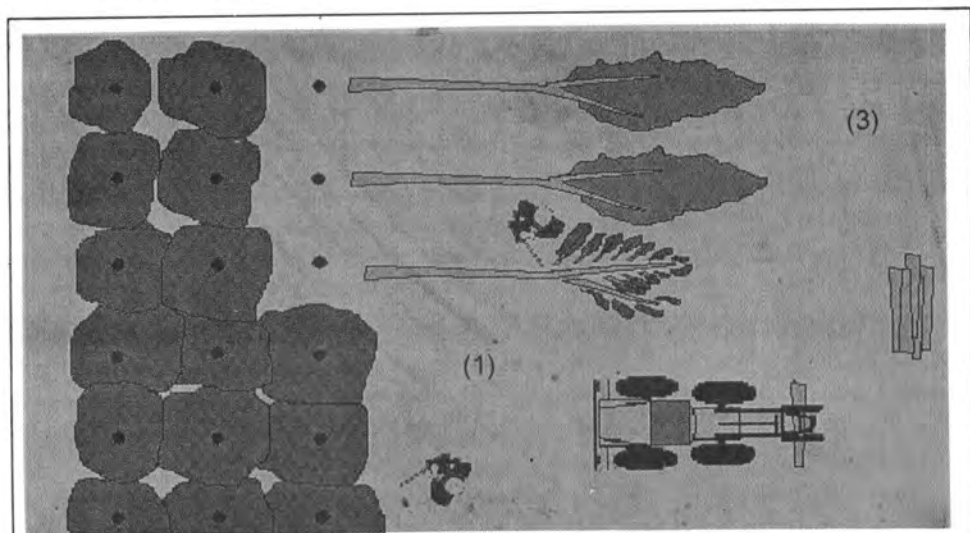
Cuadro 2. Características de los dos tipos de aprovechamiento estudiados.

Aprovechamiento	Situación	Extensión	Organización
Tipo A	Vilecha (León), Sta. Marta de Tera (Zamora)	10-15 ha	Elaboración del manual, saca con pala cargadora al borde de pista y carga para el transporte a lo largo de la misma.
Tipo B	Duratón (Segovia)	< 1 ha	Elaboración del manual, saca con pala cargadora, transporte intermedio con autocargador a un sitio de carga accesible al camión (cargadero).

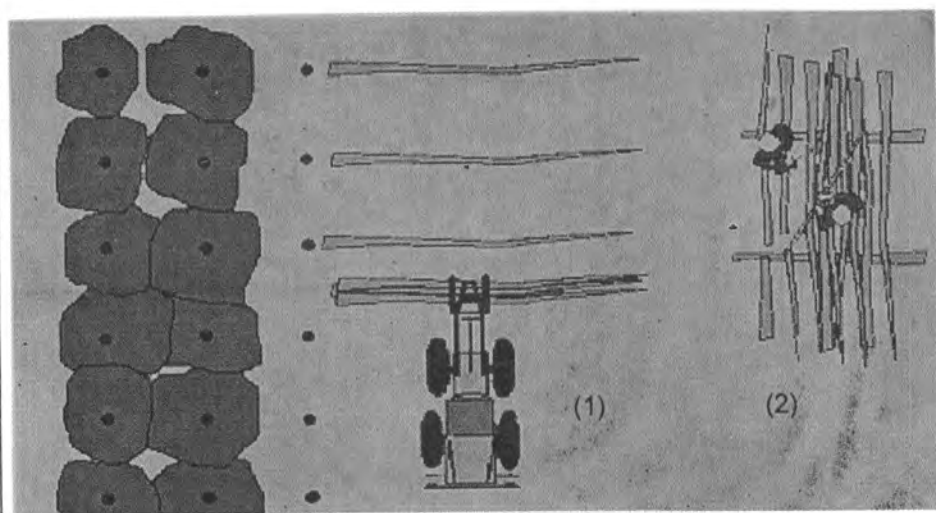
Cuadro 3. Descripción de los recursos humanos y materiales utilizados en los dos tipos de aprovechamiento.

Aprovechamiento	Humanos	Materiales
Tipo A	Dos motosierristas Maquinista	Dos motosierras Stihl 066 Pala cargadora Volvo adaptada con grapa frontal
Tipo B	Motosierrista Maquinista Conductor del autocargador	Motosierra Hüsqvarna 372 Pala cargadora Caterpillar adaptada con grapa frontal Autocargador Volvo

La forma de organización del trabajo según el tipo de aprovechamiento se detalla en la Figura 1.



Zona de apeo y desramado (1). Pala cargadora llevando trozas al borde de pista (3).



Zona de tronzo (2). Pala cargadora recogiendo fustes para traslado a zona 2.

Figura 1. Zonas de trabajo del aprovechamiento Tipo A.

En el aprovechamiento Tipo A existen tres zonas de trabajo:

1. La zona de apeo y desramado
2. La zona de tronzado y
3. La zona de clasificación y posterior carga del camión, situada al borde de pista.

Los operarios apean una fila de individuos y la desraman; mientras, la pala cargadora traslada las trozas desde la zona de tronzado hasta el borde de pista, realizando una clasificación.

Cuando los motosierristas terminan de desramar, se dirigen al área de tronzado, donde se turnan en las funciones de medir y cortar. De manera simultánea, la pala cargadora recoge la fila de fustes apeados y los lleva a la zona de tronzado; a continuación la máquina retira los residuos mediante pasadas paralelas con la grapa a ras de suelo (Figura 2), amontonándolos hasta constituir un cordón.



Figura 2. Pala cargadora amontonando los residuos.

En el aprovechamiento Tipo B, el motosierrista hizo el apeo de dos a tres árboles, luego los desramó, despuntó y los trozó. Posteriormente, mientras la pala cargadora retiraba las trozas y apilaba los residuos, el operario aprovechó esos momentos para recargar combustible y dar mantenimiento a la motosierra.

Las malas condiciones de las vías impedían el acceso al camión de transporte y fue preciso usar el autocargador como medio de saca adicional para llevar las trozas al área de carga y clasificarlas (Figura 3).

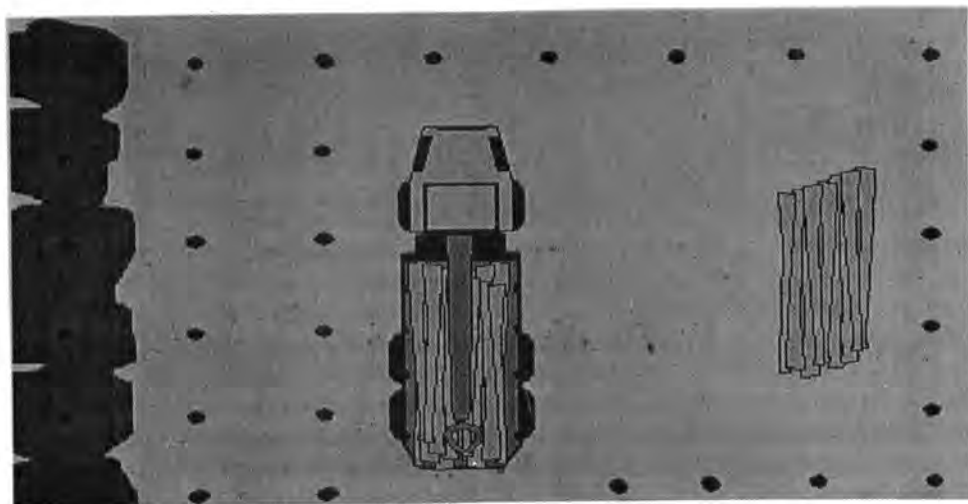


Figura 3. Traslado de trozas por conducto del autocargador.

La toma de datos de campo consistió en realizar cronometrajes continuos (Ambrosio, 2003; Ambrosio *et al.*, 2001; Tolosana, 1999). Se utilizó una computadora de campo Psion Organiser II (Modelo LZ64) con el programa ZPR que permitió el registro de parámetros explicativos atemporales (Cuadro 4); los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico mediante el programa Statgraphics plus 5.0.

La terminología de tiempos empleada fue la propuesta por IUFRO, en la que se especifican las diversas categorías temporales en que se puede dividir el trabajo para su cronometraje (Bjöherden, 1995). Los términos usados fueron los siguientes:

Tiempo productivo ($t_{\text{productivo}}$).- Es una parte del periodo de trabajo que se utiliza en contribuir directamente en la ejecución de la tarea específica del ciclo de operación (apear un árbol o desemboscar la madera), es decir, se incluyen aquí todas las actividades en que se manipula el objeto de trabajo, como son los desplazamientos necesarios para realizar estas tareas; por ejemplo, en el caso del motosierrista, sería el apeo, desramado y desplazamiento al siguiente árbol que se va a derribar.

Cuadro 4. Operaciones y parámetros utilizados para la generación de los modelos de tiempos y rendimientos.

Modelo	Operaciones elementales	Parámetros
Motosierrista	Apeo (t_{apeo})	Diámetro y su volumen unitario asociado a la clase diamétrica (CD) correspondiente.
	Desramado (t_{desr})	
	Tronzado (t_{trnz})	Altura de poda (h_{1RV}).
	Medición (t_{med})	Distancia recorrida (d_{recon}).
	Desplazamiento (t_{desp})	
	Mantenimiento (t_{mant})	
	Repostado (t_{repost})	
Reparación (t_{repar})		
Máquina	Desplazamiento vacío por monte (t_{DVM})	Diámetro (y su volumen unitario asociado).
	Carga (t_{carga})	Distancia recorrida (d'_{recon}).
	Desplazamiento semicargado (t_{Dsemic})	Número de fustes (Nf) o de trozas (Nt).
	Desplazamiento cargado por monte (t_{DCM})	
	Descarga (t_{desc})	
	Colocación de trozas (t_{coloc})	
	Ayuda en apeo (t_{ayud})	
	Reparación (t'_{repar})	

Tiempo de trabajo ($t_{trabajo}$).- En éste se consideran todas las operaciones implicadas directa o indirectamente en la consecución del trabajo; por lo tanto, comprende la fase productiva más otras como el de mantenimiento, repostado y otros trabajos auxiliares.

Tiempo de presencia ($t_{\text{presencia}}$).- Son los tiempos de desplazamiento a la zona de trabajo, montajes y desmontajes, comidas, interrupciones por visita, etc. En definitiva, es el lapso que permanecen los operarios en la zona de aprovechamiento.

Para el cálculo de los volúmenes, se emplearon tarifas de cubicación elaboradas por la empresa adjudicataria y unas tablas usadas por la Confederación Hidrográfica del Duero (Fernández, 1998).

Mediante regresión lineal de los parámetros explicativos se generaron modelos que estiman los tiempos de cada una de las operaciones elementales del ciclo de trabajo considerado. Los correspondientes al motosierrista o al medio de desembosque son ecuaciones pormenorizadas o analíticas (Tolosana *et al.*, 2000) que resultan de la suma de las ecuaciones de tiempo para cada operación elemental realizada, de lo que se obtiene una ecuación del tipo siguiente:

$$t_{\text{trabajo}} (s / \text{ciclo}) = K_0 + \sum_{i=1}^{i=n} t_i \quad [1]$$

Donde:

- t_i = modelo de tiempo de cada operación elemental del ciclo de trabajo.
- i, \dots, n = conjunto de operaciones del ciclo de trabajo que dependen de parámetros explicativos.
- K_0 = Suma del tiempo medio empleado en el conjunto de las operaciones elementales del ciclo de trabajo que no dependen de ningún parámetro explicativo (tronzado, medición, reparación, mantenimiento y repostado en motosierristas; descarga, colocación de trozas, ayuda en apeo, reparación y apilado de residuos en el desembosque).

Los modelos de rendimientos que estiman los metros cúbicos por hora de trabajo (fracción horaria del tiempo de trabajo) se desprenden de la siguiente expresión matemática:

$$R (m^3 / h_i) = \frac{3600 (s/h) \cdot v_{\text{uni}} (m^3 / \text{ciclo})}{t_{\text{trabajo}} (s / \text{ciclo})} \quad [2]$$

Donde:

- $R(m^3/ht)$ = Rendimiento expresado en metros cúbicos por hora de trabajo
 V_{unit} = Volumen unitario del fuste (m^3)
 $t_{trabajo}$ = Tiempo de trabajo (seg)
 h_t = Hora de trabajo (fracción de tiempo de trabajo)

Los coeficientes de productividad de una máquina u operario forestal son parámetros atemporales, que muestran el grado de aprovechamiento del tiempo por cada uno de ellos. Éstos permiten la conversión de los resultados a distintas unidades de tiempo, que puede ser de presencia, de trabajo o productivo. Así pues, para obtener los rendimientos en metros cúbicos por hora productiva, basta dividir el rendimiento (ecuación 2) entre el coeficiente de productividad sobre tiempo de trabajo:

$$R(m^3/h_p) = \frac{R(m^3/h_t)}{Coef. (t_{productiva}/t_{trabajo})} \quad [3]$$

Donde:

- $Coef.$ = Coeficiente de productividad que relaciona el tiempo productivo con el tiempo de trabajo (atemporal)
 h_p = Hora productiva (fracción de tiempo productivo)

RESULTADOS

Los modelos de tiempos para el motosierrista y el medio de saca de cada tipo de aprovechamiento se muestran en el Cuadro 5.

Los coeficientes de productividad (o distribución de tiempos) obtenidos en los dos tipos de aprovechamientos se resumen en el Cuadro 6.

Cuadro 5. Modelos simplificados de tiempos para cada medio empleado según el tipo de aprovechamiento.

	Modelos de tiempo	Media y rango	
Aprovechamiento Tipo A	Motosierrista	$t \left(\frac{s}{ciclo} \right) = 55.05 + 0.83 \cdot CD + 0.98 \cdot d_{reco} + \frac{559.37}{h_{1RV}}$	<p>CD = 35 cm [20-45] $d_{reco} = [5-35]$ $H_{1RV} = 7.5 \text{ m} [5-12]$</p>
	Máquina (pala cargadora)	$t \left(\frac{s}{ciclo} \right) = 62.35 + 1.69 \cdot d'_{reco} + 3.25 \cdot Nf$	<p>$d'_{reco} = 36 \text{ m} [10-100]$ $Nf = 2.5 [1-4]$</p>
Aprovechamiento Tipo B	Motosierrista	$t \left(\frac{s}{ciclo} \right) = 27613 + 1.18 \cdot CD + 1.20 \cdot d_{reco} - 23.24 \cdot h_{1RV}$	<p>CD = 35cm [15-45] $d_{reco} = [3-15]$ $H_{1R} = 4.6 \text{ m} [4-6]$</p>
	Máquina (pala cargadora)	$t \left(\frac{s}{ciclo} \right) = 34.81 + 3.02 \cdot d'_{reco} + 7.87 \cdot Nf$	<p>$d'_{reco} = 16 \text{ m} [5-25]$ $Nf = 3 [1-4]$</p>

CD = Clase diamétrica en intervalos de 5 cm; h_{1RV} = Altura de poda o altura de la primera rama viva (m); d_{reco} = Distancia recorrida media del motosierrista; d'_{reco} = Distancia recorrida media de la máquina; Nf = Número de fustes; $Nf \dots$ = Número de trozas transportados por la máquina en cada ciclo.

Cuadro 6. Coeficientes de productividad de los dos tipos de aprovechamientos.

Coeficiente	Aprovechamiento			
	Tipo A		Tipo B	
	Motosierrista	Máquina	Motosierrista	Máquina
$\frac{h_{productiva}}{h_{trabajo}}$	82.12	89.84	80.81	86.45
$\frac{h_{productiva}}{h_{presencia}}$	55.30	46.08	38.49	31.55
$\frac{h_{trabajo}}{h_{presencia}}$	67.34	51.29	47.63	36.50

Con base en lo anterior y mediante la transformación de la ecuación 2, se producen los modelos correspondientes a los rendimientos en metros cúbicos por hora de trabajo para determinadas condiciones de aplicación, que se derivan del tipo de aprovechamiento. Para los motosierristas se generaron los del Cuadro 7.

Cuadro 7. Intervalos de aplicación y modelos de rendimientos para los motosierristas por el tipo de aprovechamiento.

Aprovechamiento Tipo A	$R(m^3/h_t) = \frac{3.600 \cdot v_{unit}}{\left[55.05 + 0.83 \cdot CD + 0.98 \cdot d_{reco} + \frac{559.37}{h_{URV}} \right]}$
	Intervalo de aplicación <i>Extensión: 10-15 ha</i> Volumen unitario (V_{unit}) = 1.00 m ³ [0.18-1.65]
Aprovechamiento Tipo B	$R(m^3/h_t) = \frac{3600 \cdot v_{unit}}{\left[276.13 + 1.18 \cdot CD + 1.20 \cdot d_{reco} - 23.24 \cdot h_{URV} \right]}$
	Intervalo de aplicación <i>Extensión: < 1 ha</i> Volumen unitario (V_{unit}) = 1.00 m ³ [0.18-1.65]

Con las ecuaciones previas se diseñó la Figura 4, en la que se refleja el efecto de la distancia recorrida, el parámetro que más influye, una vez fijados los otros dos parámetros con sus valores más frecuentes.

Para las palas cargadoras adaptadas, los modelos de rendimientos que resultan del mismo procedimiento se presentan en el Cuadro 8.

En la Figura 5 se observa el impacto de la variación de la clase diamétrica, una vez fijados los otros parámetros con sus valores más frecuentes.

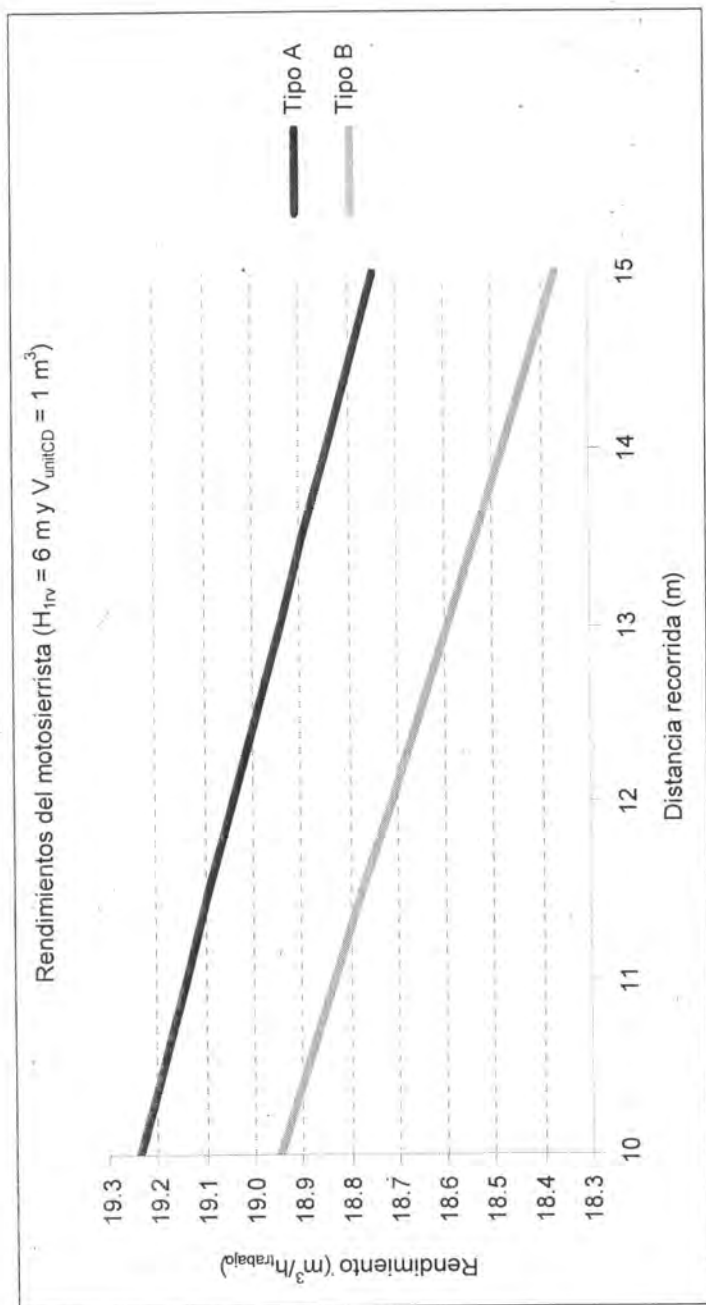


Figura 4. Rendimientos del motosierrista en función de la distancia recorrida.

Cuadro 8. Modelos de rendimientos e intervalos de aplicación para las máquinas según el tipo de aprovechamiento.

Aprovechamiento Tipo A		$Rdto \left(\frac{m^3}{h_i} \right) = \frac{3600 \cdot v_{unit} \cdot Nf}{[62.35 + 1.69 \cdot d_{reco} + 3.25 \cdot Nf]}$
		Volumen unitario (V_{unit}) = 1:00 m ³ [0.18-1.65]
	Intervalo de aplicación	Distancia recorrida (d_{reco}): de 10-100 m (promedio de 36 m)
		Nº fustes por viaje (Nf): de 1 a 4 fustes (promedio de 2,5)
	Clasificación de la madera: SI	
Aprovechamiento Tipo B		$Rdto \left(\frac{m^3}{h_i} \right) = \frac{3600 \cdot v_{unit} \cdot \frac{Nt}{Nt_{medio}}}{[34.81 + 3.02 \cdot d_{reco} + 7.87 \cdot Nt]}$
		Volumen unitario (V_{unit}) = 1.00 m ³ [0.18-1.65]
		Distancia recorrida (d_{reco}): de 5 a 25 m (promedio de 16 m)
	Intervalo de aplicación	Nº trozas por viaje (Nt): de 1 a 4 trozas (promedio de 3)
		Nº medio de trozas por fuste (Nt_{medio}) = 3.7 trozas
	Clasificación de la madera: NO	

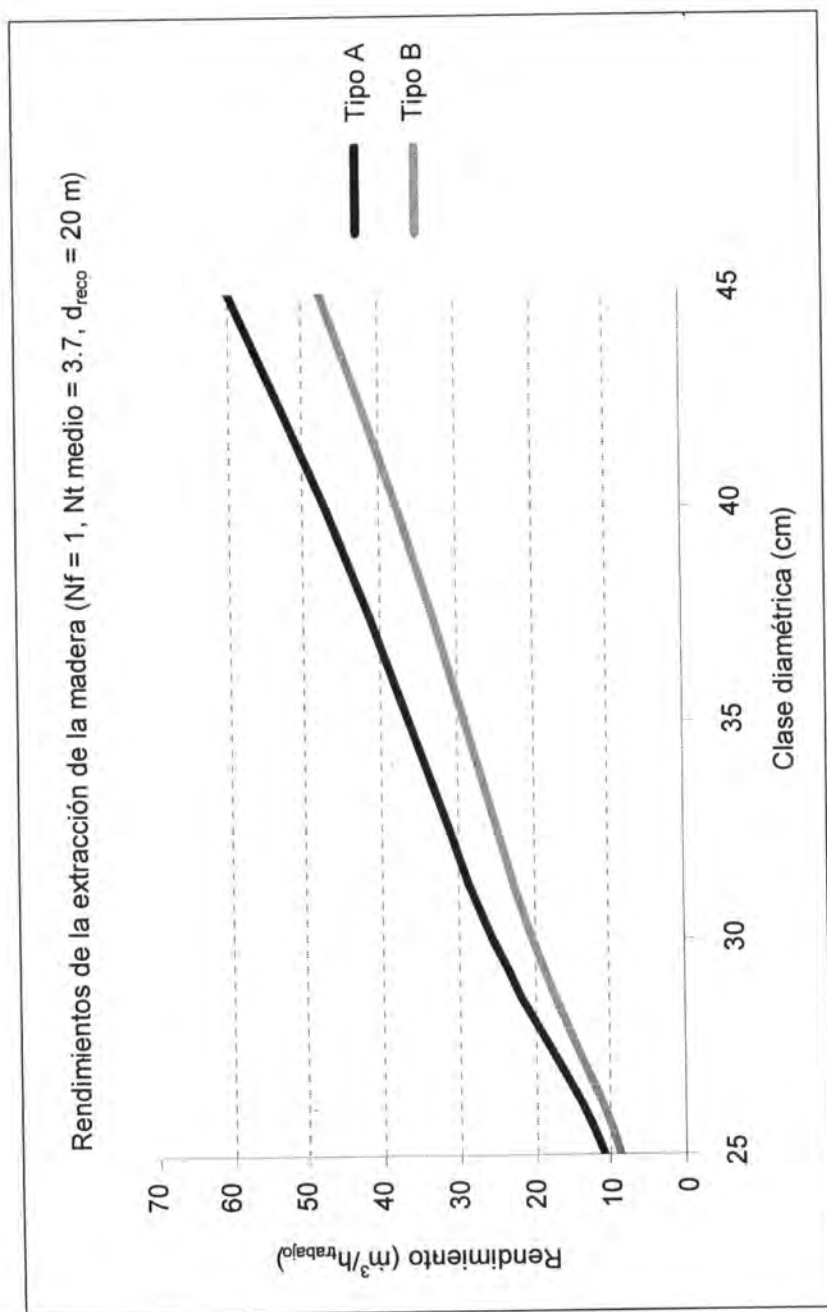


Figura 5. Rendimientos en la saca de la madera con la pala cargadora en función de la clase diamétrica.

DISCUSIÓN

No existen modelos de tiempos y rendimientos para las cortas finales en plantaciones de *Populus*, sólo referencias a casos concretos.

Para las condiciones más frecuentes en esta clase de aprovechamientos (altura de la primera rama de 6 m, distancia recorrida de 15 m y volumen unitario del fuste de 1 m^3 , para una clase diamétrica de 35 cm) se estima un rendimiento medio de los operarios manuales de $18.75 \text{ m}^3/\text{hr}$ de trabajo en el aprovechamiento tipo A y un $18.37 \text{ m}^3/\text{hr}$ de trabajo en el de tipo B. La diferencia en los rendimientos de las operaciones manuales es muy pequeña (menos de 2% con árboles de 1 m^3 y la altura de poda que varió de 4 a 6 m y distancia recorrida de 5 a 15 m) debido a que los parámetros fisiográficos son similares, así como la organización de los trabajadores.

Las características promedio de los sistemas de saca en los aprovechamientos estudiados, distancia recorrida de 20 m y transporte de un fuste (o una media de 3.7 trozas) se estima un rendimiento medio de la saca de $36.22 \text{ m}^3/\text{hr}$ de trabajo en el A y un rendimiento de $28.96 \text{ m}^3/\text{hr}$ de trabajo en el tipo B; es decir, el rendimiento es 20% menor en las zonas de menor extensión, lo que comprueba la trascendencia de la organización para el aprovechamiento.

El incremento en los rendimientos de saca en el caso de cargar cuatro fustes frente a uno por ciclo de trabajo (para distancias recorridas de 20 m) es de 73% en las explotaciones de mayor extensión (Tipo A) y de 57% en las de pequeña extensión (Tipo B). Las cargas incompletas por parte de los medios de saca repercuten mucho en los rendimientos y costos, por lo tanto, se deben evitar en la medida de lo posible.

Este trabajo es una primera aproximación y un punto de partida para la futura elaboración de modelos más completos y eficaces que contemplen más situaciones y tamaños de aprovechamiento, al tiempo que proporciona una herramienta de cálculo al gestor, al darle una referencia inicial para trabajar.

CONCLUSIONES

Las variables que más inciden en los tiempos y rendimientos de los motosierristas son el diámetro del pie extraído; en consecuencia, su volumen asociado y la distancia recorrida en sus desplazamientos. Otra variable con menor influencia, pero no menos importante, es la altura de poda de los árboles.

Las variables que más repercuten en los rendimientos del medio de desembosque son el número de fustes que transporta, por lo tanto el volumen de carga en cada viaje, y la distancia recorrida.

La realización de cargas incompletas supone reducciones muy grandes del rendimiento y que deben evitarse en la medida de lo posible mediante la planificación del aprovechamiento, de tal manera que el medio de saca disponga del máximo número de fustes o trozas que pueda transportar en cada ciclo de trabajo.

Las diferencias en los rendimientos de las operaciones manuales de las dos explotaciones son inferiores a 2%.

REFERENCIAS

- Ambrosio, Y. 2003. Modelos de tiempos, rendimientos y costes de las operaciones semi-mecanizadas de aprovechamientos de claras de masas de *Pinus sylvestris* L. Tesis Doctoral. ETSI Montes (UPM). Madrid, España. 320 p.
- Ambrosio, Y., E. Tolosana y S. Vignote. 2001. Rendimientos y costes de los aprovechamientos en claras sobre repoblaciones de pino silvestre (*Pinus sylvestris*). In: Actas del IIIº Congreso Forestal Español, Granada. España. Mesa 5, pp. 907-914.
- Bjöherden, R. 1995. Forest Work Study: Nomenclature. IUFRO WP 3.04.02. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Operational Efficiency. Garpenberg, Sweden. 22 p.
- Fernández, A. 1998. Guía para determinar el precio de la madera de chopo en pie. Estimación de existencias y análisis económico sobre la rentabilidad de las choperas. Confederación Hidrográfica del Duero. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 203 p.
- López S., E. 2003. Estudio de tiempos, rendimientos y costes de dos sistemas de organización de los trabajos de apeo y reunión en las cortas de aprovechamiento de chopo en Castilla-León. Proyecto Fin de Carrera. ETSI Montes (UPM). Madrid, España. 131 p.
- Rueda, J. 1998. Populicultura en Castilla y León. Montes. 52:43-50.
- Tolosana, E. 1999. El aprovechamiento forestal mecanizado en las cortas de mejora de *Pinus sylvestris* L. Modelos de tiempos, rendimientos y costes y estudio de sus efectos ambientales. Tesis Doctoral. ETSI Montes (UPM). Madrid. España. 220 p. + anexos.
- Tolosana, E., S. Vignote y V. M. González. 2000. El aprovechamiento maderero. Ediciones Mundi-Prensa y FUCOVASA. Madrid, España. 573 p.

NOTA TÉCNICA

TRATAMIENTO PREGERMINATIVO Y PREPARACIÓN DE SEMILLA PARA SIEMBRA DE *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.

Javier Alarcón Segura¹, Ladislao Martínez Serna¹
y Salvador Castro Zavala¹

RESUMEN

El chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) es un arbusto perennifolio susceptible de usarse en plantaciones forestales para recuperar terrenos degradados, sus semillas presentan una cubierta impermeable al agua, por lo que requieren de tratamientos pregerminativos. Con el fin de identificar una opción práctica y eficiente para los viveristas, se realizó un experimento donde se evaluaron: a) semillas remojadas en agua a temperatura ambiente por 20 h y siembra sin secar; b) inmersión en ácido sulfúrico concentrado a 98%, grado industrial a 1°C por 95 min, posterior lavado con agua corriente, remojo de las semillas en agua a temperatura ambiente durante 20 h y siembra sin secar; c) como lo anterior, pero con disminución del contenido de humedad hasta 20%; d) igual al inciso c, pero con una reducción de la humedad de las semillas al 10% antes de remojarlas por 20 h, y la subsiguiente eliminación de 80% de su contenido de humedad. Se hicieron cuatro repeticiones de cada tratamiento y todo el material se incubó en condiciones de laboratorio a temperatura constante de 20°C. Con el remojo en agua a temperatura ambiente se alcanzó más de 10% de emergencia radicular; el uso del ácido seguido por remojo en agua, la mejoró de manera significativa alcanzando valores cercanos a 55%, independientemente de que la siembra se hubiera realizado con material, embebido o seco. Con la aplicación adicional de dos ciclos de remojo y secado se obtuvo un valor superior al 80% de germinación.

Palabras clave: Arbusto, Chapulixtle, *Dodonaea viscosa*, escarificación, germinación, semilla.

Fecha de recepción: 01 de agosto de 2005.

Fecha de aceptación: 28 de junio de 2006.

¹ Vivero San Luis Tlaxiatalmalco, Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Correo-e: dgmdr04@yahoo.com.mx

ABSTRACT

"Chapulixtle" (*Dodonaea viscosa*) is an evergreen shrub that can be used for plantations to recover degraded lands; as seeds have a water-proof cover, it is necessary to apply pre-germinatory treatments. In order to count on one practical and efficient option for nursery workers, an experiment was carried out where the following conditions were tested: a) seeds soaked in water at room temperature during 20 h with non-dry sowing; b) seeds immersed into a 98 per cent concentration of sulphuric acid industrial level of 1 per cent during 95 min followed by a water-wash as well as by soaking into water at room temperature for 20 h and non-dry sowing; c) the same as b) but with a humidity content reduction up to 20 per cent; d) the same as c) but with a humidity content reduction up to 10 per cent before the seeds were soaked during 20 h and the following elimination of 80 per cent of their humidity content. Four repetitions of each treatment were made and all the material was incubated under laboratory conditions at a 20°C constant temperature. With the soaking of seeds at room temperature, germination surpassed 10 per cent; the use of acid followed by soaking in water, improved in such an important way as to reach 55 per cent, even though the sowing had been with or without wet or dry material. With the additional application of two soaking and dry cycles, germination raised to 80 per cent.

Key words: Shrub, Chapulixtle, *Dodonaea viscosa*, scarification, germination, seed.

INTRODUCCIÓN

El Vivero San Luis Tlaxialtemalco dependiente de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) del Gobierno del Distrito Federal, tiene como objetivo la producción moderna y eficiente de plantas para la reforestación. En esta actividad se han incluido algunas especies que, no son de uso tradicional, pero tienen gran potencial tanto en la recuperación de terrenos degradados, como en plantaciones comerciales.

Una planta prometedora en este sentido es *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (chapulixtle) arbusto perennifolio, de la familia Sapindaceae, de distribución pantropical que crece en terrenos cerriles muy erosionados, con una gran variación y que ha sido registrada con múltiples usos (RMGF, 2000; West, 1984); por ejemplo, en jardinería urbana y en la producción de soportes o tutores hortícolas utilizados en el cultivo de jitomate (Camacho, 1993; Camacho, 2003; INIFAP, 1997; Mancera, 2002; Terrones *et al.*, 2004).

El problema de la producción de planta en vivero de chapulixtle consiste en que el porcentaje de germinación es inferior a 10 (Camacho *et al.*, 1993);

al respecto Oliveira Toro y Camacho (1992) concluyeron que las semillas de *D. viscosa* tienen una cubierta impermeable, cuyo efecto inhibitorio se elimina con la inmersión en agua a 75°C por tres o seis minutos con lo que se logran, valores superiores a 90%, a los 11 días (Cuadro 1). Otros tratamientos como la estratificación, aplicación de tiourea, giberelina y remojo en agua a temperatura ambiente no incrementan la cantidad de individuos que emiten la radícula. Por otra parte, el agua a ebullición produce un aumento significativo del número de material muerto (Oliviera Toro y Camacho, 1992).

Cuadro 1. Estado de las semillas de *Dodonaea viscosa* relacionado con el tratamiento de presembrado, después de 20 días de incubación a 25°C.

Tratamiento	Semillas		
	Germinadas	Impermeables	Muertas
Agua a 75°C por 3 min	98 a	0 b	2 d
Agua a 75°C por 6 min	94 ab	0 b	6 d
Agua a 95°C por 3 min	86 ab	0 b	14 bc
Agua a 95°C por 6 min	76 bc	0 b	24 ab
Giberelina 200 ppm	7 d	92 a	1 cd
Giberelina 800 ppm	5 d	94 a	1 cd
Tiourea al 2%	2 d	97 a	1 cd
Agua a 18°C por 24 h	5 d	95 a	0 d
Estratificación	2 d	98 a	0 d
Escarificado	51 c	1 b	48 a
Sin Tratamiento	3 d	97 a	0 d

Fuente: Oliveira Toro y Camacho (1992).

En cada columna las medias con la misma letra no difieren significativamente, Tukey 0.05.

Burrows (1995), al simular las condiciones ambientales que se dan a lo largo del año en Nueva Zelanda, notó que *D. viscosa* reaccionó mejor en primavera-verano, lo que sugiere que la especie requiere de temperaturas relativamente altas; no identificó una diferencia notable con siembra en suelo, respecto al papel, ni un efecto favorable debido a la luz; además refiere que usar semillas con fruto retrasa el proceso, mientras que picarlas lo estimula.

La inmersión en ácido sulfúrico concentrado por un lapso de 30 a 90 min favorece la germinación, no obstante que la mortandad se incrementa con la duración del tratamiento; cuando se incubó a 25°C y el tiempo de exposición al ácido fue de 30 min, se obtuvieron mejores resultados que los alcanzados con agua a 75°C por 6 min. (Chipole, 1995) (Cuadro 2).

Rauch *et al.* (1997) mencionan que las semillas de *D. viscosa* son duras y para propiciar su germinación hay que ponerlas en agua hirviendo y enseguida dejarlas en remojo durante 24 h. Otros autores concuerdan con la inmersión en agua a temperatura ambiente por periodos de 24 h (Terrones *et al.*, 2004; Cervantes y Sotelo, 2002).

Baskin *et al.* (2004) observaron que en el caso del chapulixtle la escarificación mecánica indujo altos porcentajes de emergencia radicular dentro de una gama de regímenes de temperatura, en luz blanca y en oscuridad, así como con exposiciones prolongadas a luz del rojo lejano, mientras que sin escarificar no absorbieron agua. Además, el calor seco de 80 a 160°C y el sumergir las semillas en agua a ebullición por lapsos de uno a 60 segundos, también elimina la impermeabilidad con resultados similares; sin embargo, es más lenta que la germinación con el primer tratamiento descrito. Los autores citan que la resistencia al agua de la testa de *Dodonaea viscosa* es más frecuente en procedencias de Australia, Brasil, Hawaïi, México y Nueva Zelanda, que en las originarias de China, la India y Paquistán, aunque ésto puede responder al momento en que se cosecha el material.

En el presente trabajo se prueba el ácido sulfúrico como tratamiento pregerminativo de *Dodonaea viscosa* con la finalidad de incrementar la germinación.

Las semillas de *Dodonaea viscosa* utilizadas en los experimentos, se recolectaron en el Parque de la Ciudad de México, Tlalpan, D. F., en el año 2003; la limpieza se hizo al romper los frutos secos y eliminar sus restos, el lote obtenido se almacenó en una cámara fría marca Bohn, Modelo Bohn-1, de 4.5 x 8 x 4 m y temperatura de 1°C, asignándole en el registro del vivero de San Luis Tlaxialtemalco la clave 04326E00303M.

Cuadro 2. Germinación y estado de las semillas de *Dodonaea viscosa* con incubación a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Semillas			
	Germinadas	Impermeables	Firmes	Muertas
Incubación a 20°C				
Testigo	17 d	67 a	10 c	6 c
Agua 75°C 6 min	84 a	2 b	9 c	5 c
Agua 92°C 6 min	24 cd	0 b	54 a	22 b
Ácido 30 min	83 a	0 b	4 c	13 bc
Ácido 60 min	60 b	0 b	19 b	21 b
Ácido 90 min	32 c	0 b	11 c	57 a
Incubación a 25°C				
Testigo	15 c	67 a	13 bc	5 c
Agua 75°C 6 min	59 b	3 b	23 b	15 bc
Agua 92°C 6 min	26 c	0 b	47 a	27 b
Ácido 30 min	76 a	0 b	17 bc	7 bc
Ácido 60 min	49 b	0 b	28 b	23 bc
Ácido 90 min	26 c	0 b	3 c	71 a

Fuente: Chipole (1995).

En cada régimen térmico las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente entre sí, Tukey 0.05.

El experimento se realizó a nivel laboratorio y consistió en los siguientes tratamientos:

- a) Semillas remojadas en agua a temperatura ambiente por 20 h y siembra sin secar.
- b) Inmersión en ácido sulfúrico concentrado al 98%, grado industrial, a 1°C, por 95 min, para posteriormente lavar con agua corriente, a continuación se aplicó agua a temperatura ambiente durante 20 h, pasado este tiempo fueron sembradas.
- c) Como el anterior, pero se redujo a 20% su contenido de humedad antes de la siembra.
- d) Igual al inciso c, sólo que el contenido de humedad se disminuyó a 10% para después mantenerlas en agua por 20 h y por último eliminar 80% del mismo.

Se hicieron cuatro repeticiones por tratamiento y la unidad experimental fue de 100 semillas sembradas en una caja de plástico transparente cuyo sustrato fue una toalla de germinación acolchonada Kimpack®, tipo K-22, tamaño original 10" x 14" humedecida con agua. El material se mantuvo en una cámara de germinación Conviron®, Modelo C812 de 3 x 4 x 3 m, a temperatura constante de 25°C. En un periodo de 28 días, una vez a la semana se registró el número de semillas germinadas, las cuales deberían haber emitido la radícula con una longitud de cuando menos 0.5 cm.

A los resultados obtenidos se les aplicó una prueba de Chi-cuadrada, de acuerdo con Navarro (1988).

Las semillas sometidas a remojo en agua a temperatura ambiente presentaron más de 10% de germinación (Cuadro 3), que supera lo registrado por otros autores con material sin tratamiento (Camacho *et al.*, 1991; Oliviera Toro y Camacho, 1992), pero coincide con los valores citados por Terrones *et al.* (2004).

La inmersión en ácido seguida por remojo en agua mejoró significativamente la germinación, sin importar las condiciones de la siembra, es decir, con material embebido o seco, los porcentajes fueron cercanos a los obtenidos por Chipole (1995). Es posible que el uso de una temperatura baja al momento de incorporar el ácido sulfúrico impida que la semilla se dañe, lo que no sucede al usar temperaturas superiores a los 20°C, con iguales tiempos de exposición (Chipole, 1995).

Con dos ciclos de remojo, la germinación fue superior a 80%, valor similar al que resulta de la inmersión en agua a 75°C por lapsos de tres a seis minutos (Camacho *et al.*, 1993; Oliviera Toro y Camacho, 1992).

Cuadro 3. Porcentajes de germinación obtenidos con algunos tratamientos pregerminativos aplicados a semillas de *Dodonaea viscosa*.

Tratamientos	Germinación (%)
Remojo en agua durante 20 h	33 a
Inmersión en ácido sulfúrico concentrado a 1°C, por 95 min, remojo por 20 h en agua y siembra de semillas húmedas.	53 b
Inmersión en ácido sulfúrico concentrado, remojo por 20 h en agua y siembra de semillas secas.	58 b
Inmersión en ácido sulfúrico concentrado con dos ciclos de remojo-secado, siembra de semillas secas.	83 c

Las medias seguidas por la misma letra, no difieren significativamente entre sí, de acuerdo con la prueba de Chi-cuadrada.

Camacho (1994) menciona que es riesgoso el empleo de ácido y semillas a bajas temperaturas, debido a que ocurre condensación de la humedad del aire; a pesar de los buenos resultados alcanzados, es conveniente efectuar una evaluación cuidadosa del uso de ácido sulfúrico a 1°C, seguido de dos ciclos de remojo y secado, como opción alternativa al uso de agua caliente para mejorar la germinación de *Dodonaea viscosa*.

Para fines prácticos se toma como base la preparación de 1 kg de semilla, material que se coloca en seco dentro de un contenedor de plástico grueso y amplio para agregarle 1.5 L de ácido sulfúrico concentrado al 98% grado industrial, previamente enfriado a temperatura de 1°C, la adición se hace de manera lenta, mezclándolo con la semilla, para lo cual se usa una cinta de madera larga y limpia; se deja reposar 95 min en una cámara fría a 1°C. Si no se cuenta con este equipo se puede sumergir el contenedor en una tina con un poco de agua y hielo en un lugar fresco, bajo sombra. Se recomienda que el proceso se realice cuando la temperatura ambiente sea baja (por la mañana), para que el ácido no reaccione en forma violenta.

Al término de la escarificación se pasa el material por una malla resistente, tipo mosquitero, sobre piso de cemento a un lado de algún desagüe, enseguida se aplican los dos ciclos de remojo y secado.

Si la siembra no va a ser inmediata, la semilla se guarda a 1°C, por no más de dos semanas, en bolsas de plástico de 50 x 70 cm, que tengan varias perforaciones diminutas realizadas con un alfiler, al tercer o cuarto día hay que removerla sin abrir la bolsa para que tenga oxigenación.

REFERENCIAS

- Baskin J., M., H. Davis B., C. Baskin C., M. Gleason, S. and S. Cordell. 2004. Physical dormancy in seeds of *Dodonaea viscosa* (Sapindales, Sapindaceae) from Hawaii. *Seed Science Research* 14: 81-90.
- Burrows C., J. 1995. Germination behaviour of the seeds of six New Zealand woody plant species. *New Zealand Journal of Botany* (33) 365-377.
- Camacho M., F. 1994. Dormición de semillas; causas y tratamientos. Ed. Trillas. México. 125 p.
- Camacho M., F. 2003. Arbustos para la reforestación del Distrito Federal. INIFAP. Folleto para productores No. 8. 32 p.
- Camacho M., F., V. González K. y A. Mancera O. 1993. Guía tecnológica para el cultivo del Chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.); arbusto útil para producción de tutores hortícolas, Control de erosión y setos urbanos. Guía tecnológica No. 1. CENID-COMEF, INIFAP. México. 35 p.
- Cervantes S., M y E. Sotelo B. 2002. Guías técnicas para la propagación sexual de 10 especies latifoliadas de selva baja caducifolia del estado de Morelos. Publicación Especial 30. Campo Experimental Zacatepec. INIFAP. México. 30 p.
- Chipole I., M. 1995. Tratamiento, germinación y crecimiento de cuatro especies arbustivas con semilla impermeable. Tesis Profesional de Biólogo. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM, México. 82 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1997. Producción de tutores hortícolas con chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.) *In*: Dirección Forestal. Tecnologías Llave en Mano. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México. pp. 173-174.
- Mancera O., A. 2002. Plantación de chapulixtle para la producción de varas o tutores. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Folleto para Productores No. 34. 7 p
- Navarro, F. R. 1988. Introducción a la bioestadística; análisis de variables binarias. Mac Graw Hill. México. pp. 105 – 133.
- Oliviera Toro M., M. A. y F. Camacho M. 1992. Tratamientos para estimular la germinación de Chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.). *In*: Memorias del XIV Congreso Nacional de Fitogenética. SOMEFI/Universidad Autónoma de Chiapas. México. 448 p.

- Rauch F., D., H Bornhorst. L., R. Stibbe and D. Hensley L. 1997. Aalii, ornamentals and flowers, OF-20. Honolulu: Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa. 1 p. 1 (enero de 2006).
- Red Mexicana de Germoplasma Forestal (RMGF). 2000. Ficha técnica de Especies Forestales Estratégicas No. 15: *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. Gaceta de la Red Mexicana de Germoplasma Forestal. 4: 75-78.
- Terrones R., T. del R., C. Gonzáles, S. y S. A. Ríos R. 2004. Arbustivas nativas de uso múltiple en Guanajuato. Libro Técnico No. 2. Campo Experimental Bajío, INIFAP. Celaya. México. pp. 185-186.
- West, J. G. 1984. A revision of *Dodonaea* Miller (Sapindaceae) in Australia. *Brunomia* 7 (1): 41.