

Revista Mexicana de Ciencias Forestales



M.C. Carlos Mallén Rivera
EDITOR EN JEFE

Dr. Victor Javier Arriola Padilla
SECRETARIO TÉCNICO

Dra. Cecilia Nieto de Pascual Pola
COORDINADORA EDITORIAL

M.C. Marisela C. Zamora Martínez
CURADORA DE PUBLICACIÓN

CONSEJO CONSULTIVO INTERNACIONAL

- Dr. Celedonio Aguirre Bravo.- Forest Service, United States Department of Agriculture. Estados Unidos de Norteamérica
Dra. Amelia Capote Rodríguez.- Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. La Habana, Cuba
Dr. Carlos Rodríguez Franco.- US Forest Service Research and Development. Estados Unidos de Norteamérica
Ing. Martín Sánchez Acosta.- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina
Dra. Laura K. Snook.- International Plant Genetic Resources Institute. Roma, Italia
Dr. Santiago Vignote Peña.- E.T.S.I. de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. España

CONSEJO CONSULTIVO NACIONAL

- Dr. Salvador Fernández Rivera.- Coordinación de Investigación, Innovación y Vinculación, INIFAP
Dr. Miguel Caballero Deloya.- Fundador de la *Revista Ciencia Forestal en México*
Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón.- Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León
Dr. Carlos Héctor Ávila Bello.- Vicerrectoría, Universidad Veracruzana
Dr. Francisco Becerra Luna, Centro de Investigación Regional - Centro, INIFAP
Dr. Robert Bye Boetler.- Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México
Dra. Amparo Borja de la Rosa.- División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo
Dra. Patricia Koleff Osorio.- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Ing. Francisco Javier Musálem López.- Academia Nacional de Ciencias Forestales
Dr. Juan Bautista Rentería Anima.- Dirección de Soporte Forestal, INIFAP
Dra. María Valdés Ramírez.- Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional
Dr. Alejandro Velázquez Martínez.- Especialidad Forestal, Colegio de Postgraduados

La **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** es una publicación científica del sector forestal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Público de Investigación y Organismo Público Descentralizado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Tiene como objetivo difundir los resultados de la investigación que realiza el propio Instituto, así como la comunidad científica nacional e internacional en el ámbito de los recursos forestales. El contenido de las contribuciones que conforman cada número es responsabilidad de los autores y su aceptación quedará a criterio del Comité Editorial, con base en los arbitrajes técnicos y de acuerdo a las normas editoriales. Se autoriza la reproducción de los trabajos si se otorga el debido crédito tanto a los autores como a la revista. Los nombres comerciales citados en las contribuciones, no implican patrocinio o recomendación a las empresas referidas, ni crítica a otros productos, herramientas o instrumentos similares.

La **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** está inscrita en el Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Es referida en el servicio de CABI Publishing (Forestry Abstracts y Forest Products Abstracts) de CAB International, así como en el Catálogo de Revistas

del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América y El Caribe, España y Portugal (LATINDEX); en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias (PERIÓDICA); en el Catálogo Hemerográfico de Revistas Latinoamericanas, Sección de Ciencias Exactas y Naturales (HELA) y en la Scientific Electronic Library Online (SciELO-México).

La **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** Volumen 2, Número 6, julio-agosto 2011, es una publicación bimestral editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Av. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, C. P. 04010, México D. F. www.inifap.gob.mx, ciencia.forestal@inifap.gob.mx. Distribuida por el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF). Editor Responsable. Carlos Mallén Rivera. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2010-012512434400-102. ISSN: 2007-1132, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Certificado de Licitud de Título y Licitud de Contenido: En trámite por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impreso por: Imagen Gráfica, Allende No. 57, Barrio Mazatla, Papalotla, C. P. 56050. Estado de México, México. Este número se terminó de imprimir el 17 de agosto de 2011, con un tiraje de 1,000 ejemplares.

Portada: Roberto Pedraza Ruíz (2010). Bosque de coníferas con especies como *Pinus montezumae*, *P. rudis*, *P. teocote*, *P. patula*, *Cupressus lusitanica*, *Abies religiosa* y *Pseudotsuga menziesii*. Cerro de la Pingüica, 3,160 msnm. Municipio de Pinal de Amoles, Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Querétaro, México. La fotografía con el título "Juego de Luces" obtuvo Mención Honorífica en el 2do. Concurso Nacional de Fotografía de Barro Jaguar A.C. en la Categoría Biodiversidad Mexicana.



CONTENIDO

	Página
PRESENTACIÓN	3
EDITORIAL	4
ENSAYO	
PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LA CANDELILLA	7
PAST, PRESENT AND FUTURE OF CANDELILLA Romeo Rojas Molina, Saúl Saucedo Pompa, Miguel A. De León Zapata, Diana Jasso Cantú y Cristóbal N. Aguilar	
ARTÍCULOS	
GERMINACIÓN Y SUPERVIVENCIA DE DOS ESPECIES DE ACAHUAL DE SELVA BAJA PARA RESTAURAR DUNAS COSTERAS	19
GERMINATION AND SURVIVAL OF TWO SPECIES OF ACAHUAL OF TROPICAL DRY FOREST TO RESTOR COASTAL DUNES Patricia Moreno-Casasola, Dulce Infante Mata y Carolina Madero-Vega	
MICROPROPAGACIÓN DE <i>Turbinicarpus knuthianus</i> (Boed.) John & Riha CACTÁCEA ORNAMENTAL DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE, EN ESTATUS DE RIESGO	37
MICROPROPAGATION OF <i>Turbinicarpus knuthianus</i> (Boed.) John & Riha, ORNAMENTAL CACTUS OF THE CHIHUAHUAN DESERT, AT RISK STATUS Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez, Areli González Cortes, Alberto Arredondo Gómez, Leobardo Iracheta Donjuan, Sofía Comparan Sánchez y Rebeca Casique Valdés	
MODELOS VOLUMÉTRICOS FUSTALES PARA <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight & Arn. EN PLANTACIONES AGROFORESTALES DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA	55
STEM TAPER MODELS FOR <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight & Arn. IN AGROFORESTRY PLANTATIONS OF THE NORTHERN RANGE OF PUEBLA STATE J. Amador Honorato-Salazar	
EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BOSQUES DEL SUR DE NUEVO LEÓN	73
CARBON CONTENT EVALUATION IN SOUTHERN FORESTS OF NUEVO LEON Oscar Alberto Aguirre-Calderón y Javier Jiménez-Pérez	
IMPACTO DE <i>Phellinus pini</i> (Brot.) Bondartsev & Singer EN BOSQUES DE <i>Pinus greggii</i> Engelm. DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN	85
IMPACT OF <i>Phellinus pini</i> (Brot.) Bondartsev & Singer IN <i>Pinus greggii</i> Engelm. FORESTS OF NUEVO LEON STATE José G. Marmolejo, Heriberto Méndez Cortés y César Cantú A.	

VALORACIÓN SOCIOECONOMICA DEL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN VERACRUZ (COATEPEC Y SAN ANDRES TUXTLA) SOCIOECONOMIC ASSESSMENT OF HYDROLOGIC ENVIRONMENTAL SERVICES IN VERACRUZ (COATEPEC AND SAN ANDRÉS TUXTLA) Ana Lid del Ángel Pérez, José Alfredo Villagómez Cortés y Gabriel Díaz Padilla	95
EL PAPEL DE LAS UNIDADES DE MANEJO AMBIENTAL EN LA CONSERVACIÓN DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN DE COAHUILA THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT UNITS IN THE CONSERVATION OF VEGETATION TYPES IN COAHUILA STATE César Cantú Ayala, Fernando González Saldivar, Patricia Koleff Osorio, José Uvalle Saucedo, José G. Marmolejo Monsivais, Jorge García Hernández, Laura Rentería Arrieta, Jonás Delgadillo Villalobos, Cynthia Resendiz Infante y Edgardo Ortiz Hernández	113
CONSEJO ARBITRAL	125



Se agradece el apoyo del fondo sectorial CONACYT-CONAFOR para la publicación de la presente edición.
www.conafor.gob.mx/conacyt-conafor

PRESENTACIÓN

México es el tercer país más biodiverso del planeta, por muchas razones es un país grandioso y en términos de recursos naturales, es sorprendente. Sin embargo, por décadas nuestros recursos forestales y los servicios ambientales fueron subvalorados por el gobierno y la sociedad y, en consecuencia, rezagados en las políticas públicas de muchas administraciones. Un ejemplo lamentable de esto fue la existencia del Programa Nacional de Desmontes, en el siglo pasado.

Esta subvaloración basada en el desconocimiento de nuestros recursos naturales respecto a la indiscutible vinculación que tenemos como humanos de sus servicios, unos tan elementales para la vida como el agua, el oxígeno y la regulación del clima condujo a la disminución de oportunidades productivas y un deterioro vigente de la calidad de vida de los dueños de bosque y selvas.

Hoy, la situación ha mejorado de manera sustancial. En la presente administración, en congruencia con el gran acierto que significó la creación de la CONAFOR, como nunca el tema forestal es parte de los temas y de las prioritarias de planeación nacional de los distintos programas sectoriales y en general de la política pública de nuestro país, y no solamente se le ha reconocido desde el punto de vista ambiental, también se reconoce su rol dentro de temas como el económico y social del país. Así, la investigación y la transferencia de conocimiento y tecnología son una herramienta que coadyuvan a contribuir a la solución de los problemas del sector y a elevar el bienestar de los habitantes de las zonas forestales.

La investigación contribuye al manejo forestal sustentable al proporcionar las herramientas del conocimiento y su aplicación en el desarrollo de tecnología. Los proyectos de transferencia tecnológica impulsan la competencia y los beneficios económicos de las instituciones y organizaciones.

La CONAFOR con el propósito de canalizar adecuadamente las experiencias, investigaciones, recursos y efectuar actividades conjuntas, creó en 2002 el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONACYT - CONAFOR, con el cual la Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología promueve y se vincula en la identificación e impulso de proyectos prioritarios orientados en materia forestal que contribuirán a resolver problemas importantes. A la fecha se han apoyado un total de 274 proyectos, que pueden ser consultados en la página electrónica www.conafor.gob.mx/conacyt-conafor.

Al impulsar la investigación, el desarrollo y transferencia de tecnología dentro del sector forestal, apoyamos proyectos que aporten valor agregado a las materia primas forestales, al crecimiento del capital humano y a la mejora de procesos productivos orientados a contribuir a la resolución de problemas concretos relacionados con el deterioro y destrucción del recurso natural, con la productividad y producción de los ecosistemas forestales y la pobreza en las comunidades.

Esta edición presenta algunos de los resultados de los proyectos que han sido financiados por el Fondo Sectorial.

Dr. Juan Manuel Torres Rojo

Director General de la CONAFOR

Editorial



Apenas en 2008 se celebraron cincuenta años de la investigación forestal en México, en el 2009 se cumplieron cien años del establecimiento -en la nación- de la educación forestal y el 25 aniversario de la integración del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el 2010. Ahora, en el 2011, en el marco del Año Internacional de los Bosques, la Comisión Nacional Forestal cumple una década, y el país se plantea la consolidación de una serie de modernos esquemas para el manejo forestal sustentable, los cuales demandan la generación de conocimientos científicos y tecnológicos.

En relación a la producción forestal se refiere que jamás ha brindado a la economía del país la aportación que corresponde a su potencial. En 1985, se registró un valor máximo de apenas 10 millones de metros cúbicos de madera en rollo, en los años subsecuentes las medias no han alcanzado los ocho millones. Para 2003, el valor de la producción forestal fue de cerca de 16 mil millones de pesos, pero su aportación al PIB alcanzó tan sólo el uno por ciento. Parte de este déficit obedece a la carencia de modernos e incluyentes modelos de valoración económica de los recursos forestales. Sin embargo, dichas herramientas econométricas ya existen y su debate lleva por lo menos una década en las universidades y centros de investigación de la nación.

Diversas circunstancias y factores a lo largo de medio siglo han coadyuvado a consolidar y promover la ciencia forestal del país, entre ellas: el inicio de la educación en este tópico (1933) en la Escuela Nacional de Agricultura, la fundación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales INIF (1958), la integración del INIFAP (1982) y la creación de la CONAFOR en el 2001. No obstante los avances y logros, los índices macroeconómicos, sociales y ecológicos, muestran que el sector continúa acusando un profundo rezago, que sumado a la intensa explotación ha traído como resultado una alta deforestación, índices destructivos de los recursos naturales renovables que sólo serán revertidos con la aplicación de los productos de la investigación que originen un mayor impacto en la producción y productividad forestal.

La primera Ley Forestal de 1926 facultaba a organizar oficinas técnicas y personal para efectuar estudios especiales. Por su parte, la Ley de 1948 estableció Campos Experimentales "para estudiar el cultivo de las especies forestales propias de cada región". Sin embargo, hasta el inicio de la segunda mitad del siglo XX existió un consenso por parte del gobierno federal, técnicos, empresas e industriales sobre la necesidad de crear una sólida institución dedicada a la investigación forestal. Así, en 1958, se inaugura el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF) en los Viveros de Coyoacán, en la Ciudad de México, aunque en el artículo 27 de la Ley de 1960 se establece la creación del INIF con el carácter de organismo autónomo fue hasta 1969 cuando el Instituto pudo desarrollar, con cierta suficiencia, la misión para la cual fue creado. El artículo 15 de la Ley de 1986 define los objetivos del INIFAP, al retomar la tarea de implementar la investigación forestal a cargo del Estado, en sustitución del INIF para "organizar y realizar programas integrales de investigación científica y desarrollo tecnológico en materia forestal y acorde a las condiciones ecológicas y socioeconómicas del país". La coyuntura que se abre con la Ley Forestal de 1992 marca el inicio de la desvinculación de la investigación forestal en diferentes Secretarías de Estado.

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2003) establece la rectoría de la Comisión Nacional Forestal CONAFOR para la formulación y coordinación de la política de investigación forestal y el Programa Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Forestal.

La historia de la investigación forestal ha estado determinado por varios factores, entre los que destacan: la naturaleza de la problemática forestal que ha confrontado el país con los sectores agrícolas y pecuarios, las demandas de los sectores y usuarios de la tecnología forestal y los recursos técnicos, humanos y financieros disponibles para la investigación. Su desarrollo se ha caracterizado por la implementación de líneas innovadoras como las pesquisas para derivar los productos del barbasco, en aquella célebre Comisión de Estudios sobre la Ecología de Dioscóreas, que marcaron el inicio del estudio moderno de la Ecología en México, en las décadas de 1960 y 1970. A fines de los ochentas y principios de 1990 se abordaron nuevos paradigmas dasonómicos y silvícolas derivados del manejo forestal sustentable.

Sin la tecnología que genera la investigación, el uso de los ecosistemas provocaría su deterioro y las personas que de ellas dependen estarían condenadas a la pobreza. De hecho, múltiples avances científicos mexicanos han privilegiado a ejidos y comunidades, dueños del ochenta por ciento de la superficie forestal nacional, y por ende, de sus recursos naturales, pero que paradójicamente sus poblaciones son las de mayores rezagos económicos e índices de marginación.

El acceso a la información científica y tecnológica, cambia completamente el panorama y las perspectivas. La generación y transferencia de conocimientos para el aprovechamiento forestal en ejidos y comunidades que demandan incrementar su diversificación productiva ha sido el factor de transformación de su realidad. Así el conocimiento de la calidad del suelo y la elaboración de tablas de volúmenes les ha permitido la autorización de programas de manejo, con los cuales, incluso, se ha logrado la certificación internacional por el aprovechamiento forestal sustentable.

Taichi Sakaiya (1995) acuñó el término "sociedad del conocimiento" para describir la estructura de la población en anticipación a las tendencias futuras. Esta idea además de referirse al progreso técnico y a su importancia creciente en la producción -mediante la creación de nuevos productos, procesos y novedosas formas organizacionales- introduce el concepto de "valor - conocimiento", que alude tanto al "precio del saber" como al "valor creado por el saber", es decir el aprecio que una sociedad otorga a aquello que reconoce como saber creativo, original e importante.

En relación a la dupla globalización / conocimiento, Delapierre (1995) señala que una característica fundamental es la importancia adquirida por el conocimiento en la organización y en el funcionamiento de las actividades productivas. Se trata, en primer lugar, del "refuerzo en el contenido tecnológico" de productos y procesos, en segundo, la importancia del conocimiento en las actividades industriales, esto también por un aumento en la proporción de elementos no materiales en la inversión: formación, software y organización. Es tal la importancia actual del conocimiento, en la sociedad del conocimiento, que éste se ha desplazado desde el campo microeconómico funcional de los sistemas de producción al campo territorial, geográfico, precisamente el ámbito de las ciencias forestales.

El concepto de *learning region* (región que aprende, erudita e informada) es un concepto utilizado en la literatura académica anglosajona, en la cual se sostiene que se requiere una nueva clase de región, ya que estas deben adoptar los principios de la creación de conocimiento y del aprendizaje continuo. El concepto se refiere a regiones con una ventaja económica sostenida que se basa en la creación de conocimiento, en el soporte para estructuras de redes productivas y de tecnología local y en la construcción de una cultura regional fundamentada en la ciencia y la tecnología.

La idea de *learning region* proviene de la noción de que la innovación no es sólo un evento centrado alrededor de acontecimientos de ruptura cognitiva, sino más como un proceso sustentado en aspectos graduales y acumulativos de las trayectorias pasadas del desarrollo. La teoría moderna de la innovación es resultado de un análisis crítico de los

modelos lineales tradicionales con su énfasis en la investigación formal, especialmente la científica básica, como fuente de nuevas tecnologías. Con tal perspectiva, un poco capacidad de innovación podría explicarse por una disminuida actividad en Investigación y Desarrollo (I&D) y un bajo gasto del país o región en I&D. No obstante, otros enfoques apuntan a procesos cuyo fundamento es el incremento de las innovaciones, lo que en esencia tiene que ver con aprender haciendo o con la organización de procesos de innovaciones técnicas y de difusión como un todo integrado.

Las Ciencias Forestales, actualmente, atienden problemas mundiales como el calentamiento global, la pérdida de la biodiversidad, la degradación de los recursos naturales, el abasto de materias primas a la industria; así como, el enorme consumo de bienes y servicios ambientales. Su *learning region* comprende amplias zonas del planeta y se dispara desde las áreas del conocimiento forestal, a saber: Estados Unidos, Canadá y algunos países europeos como Finlandia, hacia países de economía emergente como México que cuentan con amplia experiencia sobre el aprovechamiento y conservación de los recursos forestales, ajustándose a este concepto como una región que, sobre todo, aprende a través de la investigación científica, la transferencia tecnológica y el manejo forestal.

Consciente de esta trascendente necesidad de investigación científica y tecnológica se crea en 2002 el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal como un fideicomiso entre la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Los objetivos del Fondo son la aplicación de innovación, desarrollo e investigación tecnológica y el fortalecimiento de la infraestructura que requiera el sector forestal. Además de canalizar adecuadamente las experiencias, investigaciones, recursos y desarrollar actividades conjuntas, con lo cual la Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología de la CONAFOR promueve, participa y se vincula en la identificación e impulso de proyectos de investigación prioritarios en materia forestal (Cuadro 1). Esta estrategia nacional de vinculación y dualidad entre los ecosistemas y la ciencia, cuyo reflejo es la atención de las demandas de investigación en las que participan de manera activa e interdisciplinaria los diversos sectores representados por silvicultores, productores, industriales, investigadores, así como prestadores de servicios técnicos forestales, entre otros actores involucrados.

La operación del Fondo Sectorial y las actividades que de este emanan son reguladas y autorizadas por el Comité Técnico y de Administración, considerado como autoridad máxima en dicho organismo; mientras que la Gerencia de Desarrollo y

Cuadro 1. Convocatorias del Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR (2002-2010).

No.	Convocatoria	Proyectos aprobados por el Comité Técnico y Administrativo
1	2002	70
2	2003-02	4
3	2003-03	56
4	2004	39
5	2005	36
6	2006-01	24
7	2006-02	1
8	2007	10
9	2008	11
10	2009	6
11	2010-01	5
12	2010-02	12
	Total	274

Transferencia de Tecnología de la CONAFOR vinculadas con el Fondo Sectorial están las de “promover, organizar y coordinar la integración de un sistema que reúna, analice, clasifique y divulgue por los medios más idóneos, los frutos de las investigaciones forestales que se han apoyado en el ámbito regional, nacional e internacional”. En la actualidad, se cuenta con toda la información y el seguimiento de 246 proyectos. En este contexto, el número seis de la Revista Mexicana de Ciencias Forestales integra, en siete artículos, los resultados de algunos de los muchos proyectos financiados por dicho fondo.

La temática que se aborda incluye el análisis de los impactos socioeconómicos de las políticas ambientales implementadas en México, que ponen de manifiesto el compromiso de las instituciones gubernamentales con el medio ambiente, por ello el número especial presenta un artículo sobre la valoración socioeconómica del Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) en San Andrés Tuxtla y Coatepec, Veracruz. Los resultados muestran una valoración económica y social positiva sobre los paisajes que componen las zonas de pago. En el mismo tenor de los servicios ambientales, se presentan tarifas y tablas de biomasa y contenido de carbono para el componente arbóreo de bosques mixtos de pino-encino, encino-pino y rodales puros de pino en el estado de Nuevo León.

Otra de las contribuciones destaca el uso de especies de selvas bajas caducifolias para el establecimiento de plantaciones en dunas costeras. La introducción de especies arbóreas, es una propuesta para el desarrollo de nuevas oportunidades de aprovechamiento forestal, al respecto el cedro rosado

(*Acrocarpus fraxinifolius*) es un buen ejemplo; sin embargo, aún cuando su introducción en la región norte del estado de Puebla data de 1992, no hay información técnica que ayude al manejo forestal de sus plantaciones para predecir el volumen susceptible de extracción durante las cortas de aclareo o bien en la final. Sobre el particular, se presenta un artículo en el cual se desarrolla un modelo fustal.

Phellinus pini es un hongo que causa pérdidas importantes en los bosques de *Pinus greggii* del estado de Nuevo León, por tal motivo es de interés conocer los factores que favorecen su incidencia y el turno patológico.

La conservación de la biodiversidad es un aspecto de gran relevancia para el Fondo Sectorial, hecho que se evidencia con la incorporación de dos documentos que abordan el tema, el primero desde la perspectiva de las especies con estatus de riesgo: *Turbincarpus knuthianus* y en el segundo se considera el papel de las Unidades de Manejo en la conservación de los tipos de vegetación y de la cobertura natural del suelo en el estado de Coahuila.

Por último se dedica espacio a un ensayo que muestra un panorama general de la importancia de la candelilla.

M.C. Carlos Mallén Rivera

Editor en Jefe

ENSAYO PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LA CANDELILLA

ESSAY PAST, PRESENT AND FUTURE OF CANDELILLA

Romeo Rojas Molina¹, Saúl Saucedo Pompa¹, Miguel A. De León Zapata¹
Diana Jasso Cantú² y Cristóbal N. Aguilar¹

RESUMEN

Euphorbia antisiphilitica pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, cuyos integrantes se caracterizan por ser parecidos a los cactus, pero con la diferencia de que producen látex. La especie crece en el semidesierto mexicano, y se conoce con el nombre de candelilla. La primera persona que estudió sus propiedades fue Zuccarini, quien demostró que tiene propiedades curativas contra la sífilis. La planta presenta tallos largos y erectos de color verde grisáceos, con la particularidad de que en su parte externa producen un material ceroso que le sirve de protección contra el ataque de hongos, insectos y bacterias, pero, principalmente, contra el clima extremo del semidesierto. Su recolección para la obtención de su cera es una de las actividades económicas más importantes en el noreste del país, de forma más específica en la denominada región candelillera. Sin embargo, desde hace casi un siglo se utiliza el mismo método de extracción, el cual incluye el uso de ácido sulfúrico en altas concentraciones, lo cual genera contaminación al medio ambiente, provoca daños a la salud y reduce la calidad del producto, que después pasa por un proceso de filtrado y blanqueo. En este trabajo se muestra un panorama general de la importancia pasada, la actual y una percepción a futuro de la cera de candelilla.

Palabras clave: Cera de candelilla, *Euphorbia antisiphilitica* Zucc, extracción, productos forestales maderables, usos, zonas áridas

ABSTRACT

Euphorbia antisiphilitica is a plant that belongs to the family *Euphorbiaceae*, that whose members are characterized as being similar to cacti, but the difference that produces latex, the species grows in the Mexican semi-desert with the name of candelilla. The first person than study their properties was Zuccarini, demonstrating that has healing properties against syphilis. The plant has long stems and erect green-grayish that have the particularity than in turn it produces a waxy material that protect against fungi, insects, bacteria; but mainly against the extreme climate of the semi-desert. The recollection for the extraction of wax is one of the most important economic activities for the northeast of the country, more specific form in the denominated region candelillera. However, for almost one century used the same method which involves the use of sulfuric acid at high concentrations and consequently contaminates the environment, causing damages to the health and reduces the wax quality; the one which, later on has to go through a process of filtering and bleaching. In this paper shows an overview of the importance it has had, has and a future perception of candelilla wax.

Key words: Candelilla wax, , *Euphorbia antisiphilitica* Zucc, extraction, non wood products, uses, arid zones.

Fecha de recepción: 27 de marzo de 2009.

Fecha de aceptación: 7 de febrero de 2011.

¹ Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Correo-e: cristobal.aguilar@mail.uadec.mx

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

INTRODUCCIÓN

La candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc) es un arbusto perenne, con tallos cilíndricos, densamente compactos, erectos, recubiertos de cera, con apariencia de pequeñas velas, sin hojas y en temporada de lluvias se llena de flores pequeñas (Figura 1). Zuccarini describió por primera vez la planta en 1832, y notó que se empleaba contra enfermedades venéreas (sífilis). Una nueva clasificación de la candelilla se registró en 1909 por G. Alcocer, quien la nombró *Euphorbia cerifera* y destacó sus propiedades para generar cera, la cual sirve como elemento de protección y sello para retención de la humedad (Scora *et al.*, 1995; Saucedo-Pompa, 2007a; IC, 2008).

Pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, que está constituida por árboles, arbustos, y herbáceas típicamente con látex; son plantas monoicas caracterizadas por inflorescencias en las que la unidad básica es el ciatio. La familia incluye cerca de 300 géneros y alrededor de 5,000 especies distribuidas, principalmente, en los trópicos y también en zonas templadas. Se calcula que en México está representada por 43 géneros y 782 especies, más 32 taxas infraespecíficos: ocho subespecies y 24 variedades. Existe un género endémico del país, *Enriquebeltrania* y se estima que 57% de las especies mexicanas son endémicas. A nivel de género muestran una gran afinidad con las de centro y Sudamérica. A pesar de su gran importancia, tanto sistemática como florística, el conocimiento de las *Euphorbiaceae* en México es sumamente pobre (Steinmann, 2002).

Euphorbia antisyphilitica es una especie endémica de las regiones semidesérticas de: Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas; en Estados Unidos de América, se distribuye en los estados de Nuevo México y Texas. Crece en laderas con suelo calcáreo, de origen aluvial, someros (menor a 25 cm), de textura franco arenosa, poco profundos, pedregosos, con buen drenaje, ricos en carbonato de calcio, con un pH que va de 7.4 a 8.4 y pobres en nitrógeno. Son arbustos con un diámetro aproximado a 90 cm, la raíz es pequeña; aunque una planta de tamaño moderado puede desarrollar más de 100 tallos de color verde grisáceo, con dimensiones típicas de 30-60 cm de largo y de 0.1 -1.0 cm de diámetro (Romahn, 1992; IC, 2008; Taller Nacional de Candelilla, 2008).

Arbusto abundante en sitios con altitudes de 700 a los 1,200 m, con pendientes de 1 a 3 %, en donde contribuye a la prevención de la erosión edáfica, pues protege al suelo de la radiación solar y del efecto del viento. Favorece el crecimiento de plantas como: lechuguilla, sotol, pasto chino, ocotillo y diversos cactus. Además, no se conocen plagas o enfermedades que la afecten; sin embargo, el aprovechamiento del recurso, la ganadería, el sobrepastoreo y

INTRODUCTION

Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc) is a perennial shrub with densely compact, erect, cylindrical stems coated in wax, with the appearance of small candles, leafless and that becomes full of small flowers in the rainy season (Figure 1). Zuccarini described the plant in 1832 for the first time, and noted that it was employed against venereal diseases (syphilis). A new classification of candelilla was registered in 1909 by Alcocer, who named it *Euphorbia cerifera*, as he emphasized its properties to produce wax, which serves as an element of protection and seal for moisture retention (Scora *et al.*, 1995; Saucedo-Pompa, 2007a; IC, 2008).

It belongs to the *Euphorbiaceae* family, which gathers trees, shrubs, and herbaceous forms typically full of latex; monoecious plants characterized by inflorescences in which the basic unit is the cyathium. The family includes about 300 genera and over 5,000 species, distributed mainly in the tropics and temperate zones. It is estimated that in Mexico it is represented by 43 genus and 782 species, more than 32 infraspecific taxa: eight subspecies and 24 varieties. There is an endemic genus of the country, "*Enriquebeltrania*", and it is considered that 57 per cent of the Mexican species are endemic. At the genus level, they show a strong affinity with the Central and South American species. Despite its great systematic and floristic importance, knowledge of the *Euphorbiaceae* in Mexico is very poor (Steinmann, 2002).

Euphorbia antisyphilitica is an endemic species of the semi-desert regions of the States of Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas and Zacatecas. It is found too, in New Mexico and Texas, United States of America. It grows on slopes with calcareous soil of alluvial origin, shallow (less than 25 cm) sandy-loam texture, stony, well drained, rich in calcium carbonate, with a pH ranging from 7.4 to 8.4 and poor in nitrogen. They are shrubs with a diameter around 90 cm and a undersized root, even though a moderate-sized plant can develop more than 100 grey-green stems, with typical dimensions of 30-60 cm long and 0.1 - 1.0 cm in diameter (Romahn, 1992; IC, 2008).

This is an abundant shrub in places with altitudes from 700 to 1,200 m, with gradients from 1 to 3%, where it contributes to the prevention of soil erosion, since it protects the soil from solar radiation and the effect of the wind. It favors the growth of plants as: lechuguilla, sotol, China grass, ocotillo and several cacti. In addition, there are no known pests or diseases that affect it; however, the use of this source, livestock, overgrazing and fires can endanger its population (CONAFOR, 2009).

Its discovery and use is due to the Indians of Northern Mexico, who extracted raw wax by heating of the stems



Figura 1. Arbusto de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc) (a). Detalles del tallo (b).
 Figure 1. Candelilla shrub (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc) (a). Details of the stem (b).

los incendios pueden llegar a poner en peligro sus poblaciones (CONAFOR, 2009).

Su descubrimiento y uso se debe a los indígenas del norte de México, quienes extraían cera cruda mediante el calentamiento de los tallos en recipientes de barro y después la mezclaban con colorantes para usarla con fines ornamentales (Romhan, 1992; Romhan, 1992a). Algunas versiones indican que en la antigüedad se quemaba para la iluminación, por lo que cumplía con las funciones propias de una vela; también, la utilizaron para tensar arcos, curtir pieles, en preparaciones medicinales contra el dolor de muelas y como laxante. En la época de la colonia española se empleó para elaborar velas, de allí el nombre de candelilla, que significa “vela pequeña”.

Para principios del siglo XX se empezó a comercializar, y en 1905 Connek y Landresc investigan su composición y propiedades. Durante la segunda guerra mundial se incrementó su demanda para impermeabilizar y proteger de los mosquitos las telas de las tiendas de campaña, para cubrir y prevenir el deterioro de algunas partes de los aviones y en la fabricación de explosivos y alcanzó un precio de hasta 1.2 USD kg⁻¹ y México exportó hasta 24, 000 ton año⁻¹ (Domínguez-Lara, 2004; López *et al.*, 2007; IC, 2008). En esos años de guerra, los candelilleros se organizaron para lograr una mejor comercialización, pero al término de ella, el desarrollo de la industria petroquímica afectó de manera significativa el mercado de la candelilla, ya que en muchos de los productos elaborados con su cera se sustituyó con subproductos del petróleo, por ejemplo: los componentes de algunos aparatos electrónicos, bases para pegamentos, recubrimientos y cosméticos. Posteriormente, se incrementó el uso de materias primas naturales en lugar de los derivados

in clay containers, which was later mixed with colorings to use it for ornamental purposes. Some versions suggest that, in former times, it was burned for lighting, thus working as a candle; it was also used to tighten arches, tanning leather, medicinal preparations to fight toothache and as laxative. In the Spanish colonial era it was used to make candles, hence the name of “candelilla”, which means “little candle”.

At the beginning of the 20th century, its commercialization started, and in 1905 Connek and Landresc investigated its composition and properties. During World War II, its demand increased as a waterproof material and was used as a protector for campaign fabric tents against mosquitoes; also to cover and to prevent the deterioration of some parts of aircraft and for the manufacturing of explosives. It was then when it reached a price of USD 1.2 kg⁻¹ and Mexico exported around 24 000 ton year⁻¹ (Domínguez-Lara, 2004; López *et al.*, 2007; IC, 2008). In those years, the “candelilleros” were organized to achieve a better commercialization, but when that war came to an end, the development of the petrochemical industry affected significantly the market of the candelilla as many products made-up with its wax were replaced by others made from oil, such as: the components of some electronic devices, adhesive bases, coatings and cosmetics. Years later, this tendency was reerterted as natural raw materials were preferred as the derivatives of oil became more expensive (Romahn, 1992; Canales *et al.*, 2006; López *et al.*, 2007; De León-Zapata, 2008).

del petróleo, por su alto costo (Romahn, 1992; Canales *et al.*, 2006; López *et al.*, 2007; De León-Zapata, 2008).

Aprovechamiento de la cera de candelilla

Producto no maderable que se obtiene de la recolecta comercial de la planta denominada candelilla, y cuyo aprovechamiento se remonta a 1914, año en que los señores Borrego y Flores diseñaron un método sencillo para la extracción de la cera. Técnica que consiste en la recolección total de la planta y posterior ebullición en una solución agua-ácido sulfúrico, método que en la actualidad todavía es utilizado. Durante los primeros años del siglo XX llegó a convertirse en una de las principales actividades económicas en el sector forestal del Desierto Chihuahuense.

La cera es una sustancia dura, quebradiza y fácil de pulverizar, que en función de su grado de refinación y blanqueo, su color puede variar desde café claro hasta amarillo (Figura 2). Su superficie puede tener altos niveles de brillo, de tal manera que ésta es una de las propiedades más apreciadas de la cera de candelilla en diversas aplicaciones, tales como: la elaboración de labiales, pulidores, brillos para muebles, etc. Además es un buen disolvente de colorantes básicos, es insoluble en agua, pero altamente soluble en acetona, cloroformo, benceno y otros solventes orgánicos (IC, 2008).

Su estructura química se compone de ésteres de ácidos grasos y ácidos grasos de cadena larga (Cuadro 1). Aunque, existen otras plantas capaces de generar "cera" (*Pedilanthus pavonis* Boissier y *Pedilanthus aphyllus* Boissier), ellas, presentan menos rendimiento; así como puntos de fusión y valor de saponificación más bajos, en comparación con la producida por individuos del género *Euphorbia* (IC, 2008; Multiceras, 2007; Maldonado, 1979). Además en la revista de la Sociedad Real de Artes, declaró que la planta de candelilla contiene cera de excelente calidad y en suficiente cantidad para su explotación, lo que la convierte en una especie muy valiosa; sin embargo, después de tantos años de recolectar el recurso, persisten dos factores inalterados: el proceso de extracción y las condiciones de extrema pobreza de los habitantes de la zona candelillera (CENAMEX, 2007).

En la actualidad, del aprovechamiento de la candelilla dependen pequeños productores de cera, conocidos a nivel local y nacional con el nombre de "Candelilleros", cuyo número es más de 3,500, distribuidos en 230 ejidos de 33 municipios del noreste rural de México. Coahuila es el principal estado productor, en donde sobresalen los municipios de Ocampo, Cuatrociénegas y Sierra Mojada (Figura 3).

Use of candelilla wax

Candelilla was is a non-timber product that comes from the comercial collection of the plant so-called, and whose harvest is as old as 1914 when Mr. Borrego and Mr. Flores invented a simple method for the extraction of that raw material. It consists in the total removal of the plant and its later boiling into a water-sulphuric acid solution that is still used at present. During the first years of the XX century, it became one of the main forest economic activities of the Chihuahuan Desert.

The wax is a hard, brittle and easy to crush to pieces, according to its degree of refinement and bleaching the color can vary from light brown to yellow (Figure 2). Its surface may have high levels of brightness, in such a way that this is one of the most appreciated properties of candelilla wax and thus it is used to produce several articles such as: lipsticks, shine furniture polishers, etc. Also it is a good basic coloring solvent, it is not water-soluble but highly soluble in acetone, chloroform, benzene and other organic solvents (IC, 2008).

Its chemical structure consists of esters of fatty and acid long chain fatty acids of (Table 1). Although, there are other plants capable of generating "wax" (*Pedilanthus pavonis* Boissier and *Pedilanthus aphyllus* Boissier), they are less effective; as well as having lower saponification value points and fusion, compared with the produced by individuals of the genus *Euphorbia* (IC, 2008; Multiceras, 2007; Maldonado, 1979). Also, the journal of the Royal Society of Arts stated that the candelilla plant contains high quality wax and in enough amount for harvesting, which makes it a very valuable species; however, after many years of collecting it, two unchanged factors persist: the extraction process and the conditions of extreme poverty of the inhabitants of the candelilla zone (CENAMEX, 2007).



Figura 2. Cera de candelilla en diferentes presentaciones.
Figure 2. Different presentations of candelilla wax.

Cuadro 1. Composición de la cera de candelilla.

Contenido	Cera cruda (%)	Cera refinada (%)
Hidrocarburos	46	57
Alcoholes libres	13	14
Ácidos libres	7	7
Ésteres simples	2	21
Ésteres hidroxilados	8	8
Ésteres ácidos	10	0
Diésteres	9	0

Descripción del proceso tradicional de extracción

Comienza con la recolección de la planta de candelilla la cual es arrandada de raíz sin respetar lo establecido en la NOM-018-SEMARNAT-1999 para posteriormente colocar la planta en calderos de hierro llamados "pailas", con una solución de ácido sulfúrico a una concentración aproximada del

At present, from the candelilla depend small-land producers of wax, known to local and national level with the name of "Candelilleros", whose number is over 3,500, who are distributed on 230 ejidos and 33 municipalities in Northeast rural Mexico. Coahuila State is the main producer, where Ocampo, Ciénegas and Sierra Mojada municipalities stand out (Figure 3).

Description of the traditional process of extraction

It consists of placing the plant of candelilla in iron cauldrons called "pailas", adding a 0.3% (v/v) sulphuric acid solution (Figure 4); sulphuric acid used is a waste of the industry of fertilizers, according to testimony from the candelilleros. A "third" is the unit of measure equivalent to a "brazada" (all that can be taken between open arms), which is equivalent from 24 to 32 kg of the plant; this variation is explained by the moisture content of the plants. Each paila has a 500 L capacity, where eight "thirds" (192 to 256 kg) by extraction of candelilla or "pailada" are put. The load of candelilla that is immersed in a water-acid solution, is heated up to the boiling point. This favors detachment of wax from the plant its the merging (De León-Zapata, 2008; Saucedo-Pompa *et al.*,2009).



Figura 3. Región candelillera en el semidesierto mexicano.
Figure 3. Candelilla zone in the Mexican semi-desert region.

0.3 % (v/v) (Figura 4); el ácido sulfúrico utilizado es un desecho de la industria de los fertilizantes, según testimonios de los candelilleros. Un "tercio", es la unidad de medida equivalente a una "brazada", es decir, lo que se alcance a tomar entre los dos brazos abiertos; en kilogramos corresponde entre 24 y 32 kg de planta, la variación responde al contenido de humedad de la planta. Cada paila tiene una capacidad de 500 L, allí se introducen ocho "tercios" (192 a 256 kg) de candelilla por extracción o "pailada". La carga inmersa en la solución agua-ácido se calienta a fuego directo hasta el punto de ebullición de la solución, lo que permite la fusión de la cera y que se desprenda de la planta (De León-Zapata, 2008; Saucedo-Pompa *et al.*, 2009).

El ácido sulfúrico evita que la cera se adhiera a las impurezas y forme una emulsión, la cual podría generarse dadas las condiciones de turbulencia durante el proceso de ebullición. Mediante esta técnica, la cera de candelilla fundida flota en la superficie del agua como espuma, enseguida se retira de la "paila" con utensilios que presentan orificios, denominados "espumaderas", con las cuales se pasa a tanques de acero, cubetas con agujeros cónicos o a moldes de barro que se colocan a nivel de piso. En cualquiera de los recipientes, la espuma caliente (cera) se separa por decantación, de un licor pardo que precipita hacia el fondo, para posteriormente reciclarse en la "paila" de extracción.

En la parte superior de la "paila", se forma una capa de fina crema color amarillo, que constituye la cera de candelilla, a la cual se le conoce con el nombre de "cerote", se retira con la ayuda de las "espumaderas" y se deja enfriar hasta solidificarse, a temperatura ambiente (Figura 5), después se quiebra en pedazos con golpes de martillo y los trozos se refunden en un recipiente cilíndrico de hierro (cortador) con la misma solución ácida con la que se realizó la extracción en la "paila", a fin de eliminar las impurezas de tierra y materia orgánica, que finalmente se separan por sedimentación. La cera decantada, conocida como "cera de candelilla cruda", se deja enfriar y solidificar. Para refinar la cera, CENAMEX (2007) indica que es necesario quebrarla, fundirla y filtrarla a través de carbón activado y de algunos otros medios filtrantes. Para el 2005, el precio de la cera de candelilla refinada osciló, en México, entre 36 y 38 pesos el kilogramo y en Italia en 52 pesos los 100 g. Para marzo de 2009, los candelilleros de Cuatrociénegas (Ejido La Vega) vendían la cera de candelilla cruda a los intermediarios en 48 pesos kg^{-1} pero una vez refinada su valor se incrementa; de tal manera que empresas como Multiceras S.A. de C.V. comercializó la cera refinada a 56 pesos kg^{-1} (Canales *et al.*, 2006; Multiceras, 2010).

Sulphuric acid prevents that wax adheres to impurities and forms an emulsion, which could generate in the turbulence conditions during the boiling process. By using this technique, candelilla melted wax floats on the water surface as a foam, and then, immediately, it is removed from the "paila" with utensils that have holes, called "espumaderas" ("foamers"), with which the wax is taken to steel tanks, buckets with conic holes or clay molds that are placed at ground level. In any of the containers, the hot foam (wax) is separated by decanting it from a brown liquor which precipitates towards the bottom, to be recycled in the extraction "paila" later.



Figura 4. Caldero de hierro denominado "paila", en donde se lleva a cabo el proceso de extracción de cera de candelilla.

Figure 4. Iron cauldron called "paila", where the candelilla wax extraction process is carried out.

In the middle part of the "paila", just above the aqueous phase, a layer of thin yellow cream is formed; it is the candelilla wax known by the name of "cerote". It is removed with the aid of the "espumaderas" and let to cool until it solidifies, at room temperature (Figure 5). Afterwards, it is broken into pieces with hammer blows and the pieces are merged into a cylindrical iron container ("cortador" or cutter) with the same acid solution with which the extraction was conducted in the "paila", in order to remove soil impurities and organic matter, which are finally separated by sedimentation. The decanted wax, known as "raw candelilla wax" is left to cool and become solid. To refine wax, CENAMEX (2007) indicates that it is necessary to break it, melt and filter it through activated charcoal and by some other filtering ways. By 2005, the price of refined candelilla wax in Mexico ranged from 36 to 38 pesos per kilogram, and from 52 pesos per 100 g in Italy. In March 2009, the candelilleros from Cuatro Ciénegas (Ejido La Vega) in Coahuila Satate, sold candelilla raw wax to intermediaries in 48 pesos a kg^{-1} but when it was refined the value increased in such a way that companies as Multiceras S.A. de C.V. marketed refined wax to 56 pesos kg^{-1} (Canales *et al.*, 2006; Multiceras, 2010).

Usos y aplicaciones de la cera de candelilla

La cera es uno de los productos naturales más usados en la industria, desde la cosmética hasta la electrónica por sus características únicas como: color amarillo transparente, su dureza, su brillo y su fácil digestión sin ser tóxica; ya que es una sustancia generalmente reconocida como segura (GRAS), por la Food and Drugs Administration (FDA). Además, sus características fisicoquímicas (Cuadro 2), como su punto de fusión, impermeabilidad, su bajo índice de contracción y propiedades dieléctricas le permiten funcionar con eficiencia en el proceso de moldeo de precisión o cera perdida en la industria eléctrica (Canales *et al.*, 2006).

El procesamiento y comercialización de la cera de candelilla, hasta 1992, estuvieron a cargo del Banco Nacional de Crédito Rural, por medio de un fideicomiso; sin embargo ese año, el Poder Ejecutivo lo desapareció y transfirió sus funciones a una empresa denominada Ceras Naturales Mexicanas, S.A. de C.V. (CENAMEX), sociedad mercantil conformada con capital ciento por ciento mexicano y cuyos accionistas eran los seis mil candelilleros del país, representados por 300 grupos. Durante dos años, CENAMEX fue la única empresa que procesaba y vendía la cera en el mundo, pero en 1994, con la firma del Tratado del Libre Comercio para América del Norte (TLCAN) la apertura del mercado y la creación de nuevas empresas nacionales e internacionales la obligaron a ser más competitiva, en relación con la calidad del producto, mientras se incrementaba el precio (CENAMEX, 2007).

A principios del siglo XXI, en el 2006, México produjo 349 ton de ceras naturales con un valor superior a \$ 7,677,582. Para el 2007, los principales consumidores fueron: España, Italia, Alemania y China con 85.38 % del total de cera de candelilla; al siguiente año se exportó a Japón, Estados Unidos y Alemania. En la actualidad alrededor de este recurso gira la actividad de más de 3,500 pequeños productores. (IC, 2008; Canales *et al.*, 2006; CENAMEX, 2007).

En la industria de los cosméticos, dadas sus propiedades protectoras, la cera de candelilla es indispensable para una gama importante de formulaciones utilizadas en la producción de lápices labiales, cremas corporales y preparaciones para el cabello. Por ser un buen plastificante y por sus capacidad de retención de aceites esenciales, favorece la preservación de los sabores, se utiliza en la fabricación de goma de mascar. Existen otras aplicaciones que incluyen recubrimientos para cartón y papel, industria de crayones, pinturas, velas de cera, lubricantes, adhesivos, anticorrosivos, fármacos, lubricantes, plásticos, textiles, tintas, anticorrosivos, impermeabilizantes y fuegos artificiales, etc (SEMARNAT, 2008).



Figura 5. Separación de cerote.

Figure 5. Separation of cerote

Uses and applications of candelilla wax

Wax is one of the most used natural products in industry, from cosmetics to electronics for its particular features such as: transparent yellow, its hardness, its brightness and its easy to digest without being toxic; it is a substance generally recognized as safe (GRAS) by the Food and Drug Administration (FDA). In addition, its physico-chemical characteristics (Table 2), as its point of fusion, waterproof, its low contraction index and dielectric properties make it possible its efficient work in the moulding process of precision or wax lost in the electrical industry (Canales *et al.*, 2006).

Until 1992, the processing and marketing of candelilla wax were in charge of the National Rural Credit Bank, through a trust; however, in that year it disappeared as such and was transferred to "Ceras Naturales Mexicanas, S.A. de C.V." (CENAMEX) company, constituted by Mexican capital whose shareholders were the six thousand candelilleros of the country represented by 300 groups. For two years, CENAMEX was the only company that produced and sold the wax in the world, but in 1994, with the signing of the North America free trade Agreement (NAFTA) the opening to new market and the creation of new national and international companies forced it to become more competitive in relation to the quality of the product, while the price increased (CENAMEX, 2007).

At the beginning of the XXIst century, in 2006, Mexico produced 349 tons of natural waxes worth over \$ 7,677,582. For 2007, the main consumers were Spain, Italy, Germany and China with 85.38% of the total of candelilla wax; the following year it was exported to Japan, United States and Germany. Nowadays the activity of more than 3,500 small producers moves this product around. (IC, 2008; Canales *et al.*, 2006; CENAMEX, 2007).

Cuadro 2. Propiedades fisicoquímicas de la cera de candelilla.
Table 2. Physico-chemical properties of candelilla wax.

Propiedad fisicoquímica	Cera cruda	Cera refinada
Valor de acidez	12-24	12-22
Valor de yodo	19-45	14-27
Número de saponificación	43-65	35-87
Punto de fusión	66-71 °C	67-79 °C
Índice de refracción	1.456 a 71 °C	1.4545-1.462 a 85 °C
Material no saponificable	65-67	67-77
Gravedad específica	0.982	0.885
Punto de flama	241 °C	-----

Notas: Punto de Fusión por el método USP 741 Clase II. Número de Acidez USP 401.

Notes: Melting point by the USP 741 class II method. Acidity number 401 USP.

En la industria de los cosméticos, dadas sus propiedades protectoras, la cera de candelilla es indispensable para una gama importante de formulaciones utilizadas en la producción de lápices labiales, cremas corporales y preparaciones para el cabello. Por ser un buen plastificante y por sus capacidad de retención de aceites esenciales, favorece la preservación de los sabores, se utiliza en la fabricación de goma de mascar. Existen otras aplicaciones que incluyen recubrimientos para cartón y papel, industria de crayones, pinturas, velas de cera, lubricantes, adhesivos, anticorrosivos, fármacos, lubricantes, plásticos, textiles, tintas, anticorrosivos, impermeabilizantes y fuegos artificiales, etc (SEMARNAT, 2008).

La revista *Nature* publicó en 1941 un artículo de John Whitaker, en el cual mencionaba que la cera de candelilla quizás era el material con el mayor número de aplicaciones comerciales de todas las sustancias extraídas de plantas silvestres que crecen en el continente americano. Hoy en día se usa en más de 20 industrias en todo el mundo (FDA, 1982; Kuznesof y Whitehouse, 2007; IC, 2008).

Experiencias de aplicación de la cera de candelilla

La cera de candelilla sigue siendo una materia prima para un sinnúmero de productos, y se han generado metodologías para su aplicación, en otras industrias, entre ellas, la elaboración de cubiertas comestibles. Saucedo *et al.* (2007a) y De León-Zapata, (2010) valoraron color, pérdida de peso, contenido de sólidos, firmeza, cambios en pH y la actividad acuosa de manzanas tratadas con cubiertas comestibles a base de cera de candelilla y potentes agentes antioxidantes como ácido elálgico y extractos de hojaseén, las que se almacenaron

From its protective properties, candelilla wax is essential for a significant range of formulations used in the production of lipsticks, body creams and hair products. Being a good plasticizer and having an essential oils' retention ability, it promotes the preservation of flavours and it is used in the manufacturing of chewing gum. There are other applications that include coatings for cardboard and paper, crayons, paint, wax candles, lubricants, adhesives, anticorrosives, medicines, lubricants, plastics, textiles, inks, waterproofing and fireworks (SEMARNAT, 2008).

In 1941, *Nature* magazine published an article by John Whitaker, in which it was mentioned that candelilla wax may be the raw material with the largest number of commercial applications of all the substances extracted from wild plants growing on the American continent. Today it is used in more than 20 industries around the world (FDA, 1982; Kuznesof and Whitehouse, 2007; IC, 2008).

Experiences of implementation of candelilla wax

Candelilla wax is still a raw material in a variety of products, and methodologies for its application, in other industries, including the development of edible covers have been generated. Saucedo-Pompa *et al.* (2007a) assessed color, weight loss, solid content, firmness, changes in pH and the water activity of apples treated with edible covers from candelilla wax and acid ellagic, which they stored during five weeks at room temperature, and thus obtained a reduction in the physico-chemical parameters (Figure 6); they also proved that the cover is able to extend the shelf life of fruits, but the use of ellagic acid in the covers, from its antioxidant power, contributes significantly to achieve this effect, even if it is absent, the quality of the apples is significantly improved.

Llovera *et al.* (2002) applied candelilla wax on tangerines stored for 10 days at 25°C and with a 55% HR to prepare covers with different proportions of lipids and hydroxipropilmetilcellulose (HPMC). They assessed weight, breathing rate and made a sensory analysis; they proved that all formulations significantly reduced weight, in regard to the control, although they did not affect the respiratory rate much. The sensory evaluation confirmed that there is no significant difference in taste compared to the control, but they are described as more juicy. Brightness proved that formulations with less ratio of fatty acid were lower than the rest, so the edible shells from candelilla wax are a good alternative for the preservation of fruit and vegetable fresh food.

durante ocho semanas a temperatura ambiente, y con ello obtuvieron una disminución en los parámetros fisicoquímicos (Figura 6); además demostraron que la cubierta es capaz de alargar la vida de anaquel de los frutos, pero el uso de ácido eláxico en las cubiertas, por su poder antioxidante, contribuye de manera importante a lograr dicho efecto, aún en su ausencia se mejora significativamente la calidad de las manzanas.

Llovera *et al.* (2002) emplearon en mandarinas almacenadas por 10 días a 25 °C y 55 % de humedad relativa (% HR) cera de candelilla para preparar cubiertas con diferentes proporciones de lípidos e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC). Midieron la pérdida de peso, tasa de respiración, hicieron un análisis sensorial y demostraron que todas las formulaciones reducen significativamente la pérdida de peso, con respecto al control; aunque no afectan mucho la tasa respiratoria. La evaluación sensorial corroboró que no existe diferencia significativa en cuanto a sabor comparado con el control, pero si los describen más jugosas. El brillo demostró que las formulaciones con menor proporción de ácido graso resultaron inferiores al resto, por lo que las cubiertas comestibles a base de cera de candelilla representa una buena alternativa para la conservación de alimentos hortofrutícolas frescos.

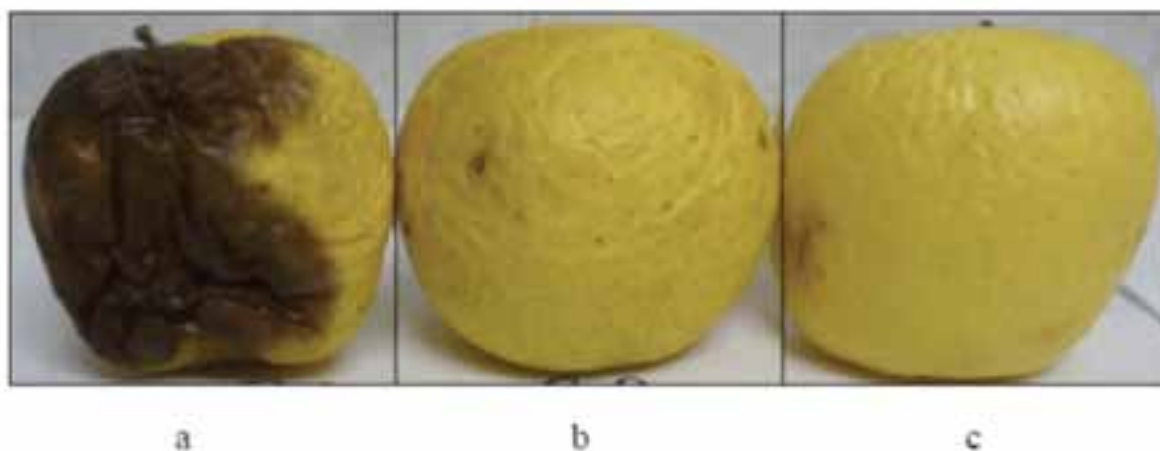


Figura 6. Efecto del recubrimiento comestible de cera de candelilla después de 8 semanas de almacenamiento. a) Sin cubierta; b) Con cubierta y c) Con cubierta y extracto de hojasén.

Figure 6. Effect of candelilla wax edible coating. a) Without cover; b) With cover; c) With cover and "hojasen" (*Cassia fistula* L.) extract.

Problemática y alternativas de estudio de la cera de candelilla

Existe un sinnúmero de problemas y enigmas que resolver respecto a la cera de candelilla, el principal de ellos es el arcaico proceso de extracción, con más de 100 años de antigüedad. El método es demasiado dañino tanto para el medio ambiente, como para los candelilleros debido a los gases de ácido sulfúrico generados en el proceso y las quemaduras en

Problems and study alternatives of candelilla wax

There is a myriad of problems and enigmas to solve about candelilla wax, the main of which is the archaic extraction process, with more than 100 years old. The method is too harmful for the environment and for the candelilleros due to sulphuric acid gases generated in the process and burns on the body which are caused by the acid and the management of the hot solution. De León-Zapata (2008) proposed an alternative technology, in which he replaced the sulphuric acid by citric acid as an extractor, since this agent does not emit toxic gases and makes the process more efficient. The author reduced the concentration of both acids and obtained similar benefits. In regard to the physical and chemical characteristics of the extracted wax by the two methodologies (traditional and alternative), there is no difference in the physical structure, but there is a higher purity when citric acid is used, as it contains less than a quarter of impurities. Therefore, the new extractive process is a valuable option, since it would improve the quality and the conditions in which the activity is performed.

In addition, despite the exploitation of the plant and the great number of uses that this wax has, its detailed composition is unknown. Although there are several studies with species of the *Euphorbiaceae* family, in which tools such as scanning electron microscopy (SEM) have been used to identify foliar crystals in *Acalypha* genus (Cardiel, 1995) gas liquid chromatography has been used to distinguish the wax of ouricury, carnauba, of Chinese insects, lac, esparto grass, candelilla and Japan wax, as opposed to the use of thin layer chromatography, which only

el cuerpo que provoca el manejo del ácido y de la solución caliente. De León-Zapata (2008) propuso una tecnología alterna, en la que sustituye al ácido sulfúrico por ácido cítrico, como extractor, este agente presenta la característica de no emitir gases tóxicos. El autor redujo la concentración de ambos ácidos y obtuvo rendimientos similares, característica que hace eficiente el proceso alterno. Con respecto a las características físicas y químicas consignó que entre las ceras extraídas por las dos metodologías (tradicional y alterna), no existe diferencia en la estructura física, pero con ácido cítrico se presenta una mayor pureza, ya que contiene menos de $\frac{1}{4}$ de impurezas. Por tanto, el nuevo proceso extractivo es una opción viable, ya que mejoraría la calidad y las condiciones con las que se lleva a cabo la actividad.

Además, a pesar de la explotación de la planta y de la gran cantidad de aplicaciones que tiene la cera, no se conoce a detalle su composición. Aunque hay una serie de estudios con especies de la familia *Euphorbiaceae*, los que se han utilizado herramientas como la microscopía electrónica de barrido (M.E.B) para identificar cristales foliares en el género *Acalypha* (Cardiel, 1995); la cromatografía líquida de gases para distinguir completamente las ceras de ouricury, carnauba, de insectos chinos, lac, esparto, candelilla y cera de Japón, a diferencia del uso de cromatografía de capa fina, la cual solo los analiza sin hidrolizar ni identifica por completo sus componentes (Tolluch, 1973).

Actualmente, algunos centros de investigación y universidades dedican parte de su tiempo al estudio de la candelilla, su preservación y alternativas de uso de la cera. Entre ellas, destacan la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) en donde se desarrollan técnicas para la producción, propagación, mejoras biológicas de la semilla, optimizar la producción de cera y el inventario de candelilla. La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) con el centro de investigación para las zonas áridas de México, hoy dirección de investigación, han registrado numerosos estudios sobre los recursos naturales de estas zonas, que incluyen a la candelilla. Hoy por hoy, los proyectos de desarrollo agronómico sustentable del Instituto de la candelilla, a cargo de la UAAAN, asumen como prioridad el análisis de su inventario, distribución y preservación, cuyos resultados contribuirán al desarrollo de las zonas semiáridas de Coahuila, en particular a la región candelillera, como resultado se tiene cooperativas para un mejor aprovechamiento de dicha planta. Además, la UAAAN junto con el Instituto de la Candelilla ha impulsado la creación de programas de asistencia técnica, capacitación, administración y gestión de recursos forestales.

La Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) cuenta con centros e institutos de investigación, como el Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ciencias Químicas, en el cual se analiza el empleo de

analyses them without hydrolyzation but does not identify its components completely (Tolluch, 1973).

Currently, some research centres and universities devote part of their time to the study of candelilla, its preservation and alternate uses of wax. Among them, the University of Nuevo León State is outstanding as its developing techniques for the production, propagation, biological improvements of seeds, optimization of wax production and candelilla inventory. The Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), through the Research Center for arid zones of Mexico which have registered numerous studies on the natural resources of these areas, which include the candelilla. Today, projects of agronomic and sustainable development of the Candelilla Institute, in charge of the UAAAN, assume as priority the analysis of its inventory, distribution and preservation. These results will contribute to the development of the semi-arid areas of Coahuila, in particular to the candelillera region, as a result, there are cooperatives for a better plant management. In addition, together with the Institute of the Candelilla, The UAAAN has promoted the creation of assistant programmes on technology, training, and management of forest resources.

San Luis Potosí State University (UASLP) has centers and research institutes, such as the Centre for research and postgraduate studies of the Faculty of chemical sciences, which analyses the use of wax products candelilla for the manufacture of products like margarine, vegetable cream and coverings, from vegetable oils with a high content of oleic acid. Coahuila State University (UAdeC) through the Food Research Department (DIA- abbreviation in Spanish -) has carried out studies on the arid zones of the State of Coahuila (Saucedo-Pompa, 2007; Saucedo-Pompa *et al*-, 2007 a, 2007 b; De León-Zapata, 2008; Rojas-Molina, 2008), particularly on the socioeconomic aspects of the candelillera zone, as well as in the optimization of the extraction process and the diversification of its applications. The Center for Research in Applied Chemistry (CIQA- abbreviation in Spanish) investigates candelilla focusing on the improvement of the wax production process and the search for products with high added value (CIQA, 2007; UAAAN, 2007; UASLP, 2007; IC, 2008).

CONCLUSIONS

The past: there is information generated during the past 60 years about the extraction, characterization and application of candelilla wax; although insufficient, it documents the existence and importance of this economic and social activity in the State of Coahuila. Further more, it makes evident the permanence of an implemented extraction method which has lasted for more than one century; its associated industry profits do not positively impact the engaged communities on the collection of plants and extraction of "cerote", even when in candelilla wax applications several industry sectors are involved.

la cera de candelilla para la elaboración de productos tipo margarina, cremas vegetales y coberturas, a base de aceites vegetales con alto contenido de ácido oleico. La Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC) a través del Departamento de Investigación en Alimentos (DIA) ha realizado estudios sobre las zonas áridas del estado de Coahuila (Saucedo-Pompa, 2007a; Saucedo-Pompa *et al.*, 2007b, 2007c; De León-Zapata, 2008; Rojas-Molina, 2008). Su participación se concentra en los aspectos económico-sociales de la zona candelillera; así como en la optimización del proceso de extracción y la diversificación de sus aplicaciones. El Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) investiga la candelilla con un enfoque prioritario en la mejora del proceso de producción de la cera y la búsqueda de productos con alto valor agregado. (CIQA, 2007; UAAAN, 2007; UASLP, 2007; IC, 2008).

CONCLUSIONES

El pasado: existe información generada durante los últimos 60 años sobre la extracción, caracterización y aplicación de la cera de candelilla, la cual aunque insuficiente, documenta la existencia e importancia de esta actividad económica y social en el estado de Coahuila. Además evidencia la permanencia de una extracción implementada hace más de un siglo; cuyos beneficios del sector industrial asociado no impactan de forma positiva a las comunidades dedicadas a la recolecta de plantas y a la extracción de cerote, aún cuando las aplicaciones de la cera de candelilla abarcan a diversos sectores industriales.

El presente: se cuenta con grupos de investigación en la UAdeC, UAAAN, IC, UASLP y la UANL que desarrollan estudios para mejorar diversas etapas del proceso de extracción, purificación, y utilización de la cera, con un enfoque de beneficio tanto a las comunidades rurales, como a las empresas dedicadas al comercio de la cera de candelilla.

El futuro: es imprescindible el perfeccionamiento de nuevos protocolos de separación y purificación, que incluyan el empleo de tecnologías emergentes de obtención entre las que se destacan procesos de microondas, ultrasonido y calor óhmico. Es necesario el despliegue de innovaciones para diversificar los productos generados a partir de la cera de candelilla, de estrategias de propagación que no pongan en riesgo la sustentabilidad de este recurso natural. Sobre todo, es urgente apoyar a los silvicultores con estudios que beneficien su salud, su economía y que aseguren la permanencia de una actividad estratégica para el progreso de estas comunidades.

At present: there are research groups in the University of Coahuila State, the University Antonio Narro, the Candelilla Institute, the University of San Luis Potosí State and The University of Nuevo Leon State who are making research to improve different stages of the process of extraction, purification and utilization of wax with an approach to benefit rural communities as well as the companies engaged in the trade of candelilla wax.

The future: It is essential the development of new protocols for separation and purification, that include the use of emerging technologies for obtaining this product; among them are microwave, ultrasound and ohmic heat processes. The deployment of innovations is necessary to diversify the products generated from candelilla wax, as well as the propagation of strategies without putting at risk the sustainability of this natural resource. Above all, it is urgent to support managers with studies that benefit their health, their economy and to ensure the permanence of a strategic activity for the progress of these communities.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the financial support of the CONAGYT-CONAFOR-2008 sectoral Fund -COI. Also to Dra. Blanca Valdivia Urdiales for her valuable assistance in this essay.

End of the English version

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del fondo sectorial CONACyT-CONAFOR-2008-C01. También se agradece a la Dra. Blanca Valdivia Urdiales por su valiosa colaboración en este ensayo.

REFERENCIAS

- Canales, G. E., V. Canales-Martínez y E. M. Zamarrón R. 2006. Candelilla del Desierto Mexicano Hacia el Mundo. *Biod.* 69: 1-5.
- Cardiel, J. M. 1995. Cristales foliares en *Acalypha* L. (Euphorbaceae). *Anales Jard. Bot. Madrid* 53(2): 181-189.
- Ceras Naturales Mexicanas, S.A. de C.V. (CENAMEX). 2007. Ficha técnica Candelilla *Euphorbia anthisyphilitica*. (Versión preliminar). <http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/cadenasproductivas/EstudioCompetitividad/FICHAS%20TECNICAS/CANDELLILLA.pdf>. (18 de marzo de 2008).
- Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). 2007. Asociados tecnológicos. <http://www.candelilla.org/es/asociados.htm>. (7 de febrero de 2009).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2009. Gerencia de plantaciones forestales comerciales. <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/competitividad/estudio-2009>. (7 de febrero de 2009).
- De León-Zapata, M. A. 2008. Mejoras tecnológicas al proceso de extracción de cera de candelilla. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coah. México. 58 p.
- Dominguez- Lara, H. 2004. La Candelilla su cera y su cultura. "De la Paila al lustre del bolero y el glamour de la pasarelas". *Crónicas del Camino Real*. 3 (28): 19-22.
- Food and Drugs Administration (FDA). 1982. Candelilla wax, proposed affirmation of GRAS status as a direct human food ingredient. *Fed. Reg.* 47: 35776-35777.
- Instituto de la Candelilla (IC). 2008. La planta de candelilla. <http://www.candelilla.org/es/>. (23 de abril de 2008).
- Kuznesof, P. M. and D. B. Whitehouse. 2007. Candelilla Wax Chemical and Technical Assessment (CTA) 65th JECFA. FAO. pp. 1-5. ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/cta_65_candelilla_wax.pdf. (23 de abril de 2008).
- Llovera, A., G. Yucra, D. M^o. Ortolá y A. Chiral. 2002. Efecto de la incorporación de hidroxipropilmetilcelulosa y de proporción de lípido en recubrimientos de cera de candelilla sobre la calidad de mandarinas almacenadas a 25 °C. <http://www.enbipn.mx/cibia/Tom01/II-67.pdf>. (22 de febrero de 2008).
- López M., F. Carrillo, M. C. Gutiérrez and M. Crespi. 2007. Alternative methods for the wool wax extraction from wool scouring wastes. *Grasas y Aceites*. 58(4): 402-407.
- Maldonado, A. L. 1979. Caracterización y uso de los recursos naturales de las zonas áridas. *Ciencia Forestal*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF). México. 4(20): 56 - 64.
- Multiceras, 2007. Pro-candelilla. <http://www.multiceras.com.mx/pro-candelilla.htm>. (3 de septiembre de 2008).
- Multiceras, 2010. <http://www.multiceras.com.mx/pro-candelilla.htm>. (26 de mayo de 2010).
- Norma Oficial Mexicana (NOM-018-SEMARNAT-1999), 1999. Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones técnicas y administrativas para realizar el aprovechamiento sostenible de la hierba de Candelilla, transporte y almacenamiento del cerote. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-018-RECNAT-1999.pdf>. (31 de mayo de 2010).
- Rojas-Molina, R. 2008. Estudio de la actividad antifúngica de cubiertas comestibles en ensayos *in vitro* e *in situ* sobre aguacate Hass. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 98 p.
- Romahn V., C. F. 1992. Los Recursos Forestales no Maderables de México: una Revisión. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 131 p.
- Romahn, C. F. 1992a. Principales productos forestales no maderables de México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México. 376 p.
- Saucedo-Pompa, S. 2007a. Desarrollo de películas comestibles a partir de cera de candelilla y activos antioxidantes. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coah. México. 102 p.
- Saucedo-Pompa, S., D. Jasso-Cantú, J. Ventura-Sobrevilla, A. Sáenz-Galindo and C. N. Aguilar G. 2007b. Effect of Candelilla Wax With Natural Antioxidants On The Shelf Life Quality Of Cut Fresh Fruits. *Journal of Food Quality*. 30:823-836.
- Saucedo-Pompa, S., D. Jasso-Cantú, J. Ventura-Sobrevilla, A. Sáenz-Galindo, R. Rodríguez-Herrera y C. N. Aguilar G. 2007c. Evaluación fisicoquímica de la calidad de manzanas tratadas con ceras naturales y activos antioxidantes. In: Guerrero-Hernández, A. F. (Comp.) *Memorias in extenso XXI Congreso Nacional de Química Analítica*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León. México. pp. 71.
- Saucedo-Pompa, S., R. Rojas-Molina, A. F. Aguilera-Carbó, A. Saenz-Galindo, H. De La Garza, D. Jasso-Cantú and C. N. Aguilar. 2009. Edible film base don candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*. 42: 511-515.
- Scora, G. A., M. Ahmed and R. W. Scora. 1995. Epicuticular hydrocarbons of candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) from three different geographical areas. *Industrial Crops and Products*. 4: 179-184.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2008. Manual que establece los criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de recursos forestales no maderables de clima árido y semiárido. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental, Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables. México. D.F. México. 107 p. http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/publicaciones/Publicaciones/Manual_Clima%20%C3%81rido.pdf. (14 de marzo de 2009).
- Steinmann V, W. 2002. Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Act. Bot. Méx.* 61. 61-63.
- Taller Nacional de Candelilla. 2008. Conservación, uso y comercio de la candelilla. Taller nacional. 11: 1-3. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/boletines/pdf/BP011-Taller%20candelilla-DEF8dic08.pdf>. (7 de febrero de 2009).
- Tulloch, A. P. 1973. Comparison of Some Commercial Waxes by Gas Liquid Chromatography. *Journal of the American Oil Chemist' Society*. 50: 367-371.
- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). 2007. Asociados tecnológicos. <http://www.candelilla.org/es/asociados.htm>. (7 de febrero de 2009).
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). 2007. Asociados tecnológicos. <http://www.candelilla.org/es/asociados.htm>. (8 de febrero de 2009).

GERMINACIÓN Y SUPERVIVENCIA DE DOS ESPECIES DE ACAHUAL DE SELVA BAJA PARA RESTAURAR DUNAS COSTERAS

GERMINATION AND SURVIVAL OF TWO SPECIES OF ACAHUAL OF TROPICAL DRY FOREST TO RESTOR COASTAL DUNES

Patricia Moreno-Casasola¹, Dulce Infante Mata¹ y Carolina Madero-Vega¹

RESUMEN

Las selvas bajas caducifolias proveen recursos importantes a las comunidades, por lo que conocer la percepción de este recurso permite identificar cuáles son las especies más convenientes para iniciar la restauración de su cobertura arbórea y diversidad. A través de entrevistas se determinaron 98 especies útiles en la región costera de Actopan, Veracruz. Los usos más frecuentes fueron leña, construcción, postes, cerca viva, carbón, comestible y medicinal. Se eligieron a *Gliricidia sepium* y a *Leucaena leucocephala* para realizar experimentos de germinación y el establecimiento en una plantación en dunas costeras, ubicando plántulas debajo del dosel de los árboles (sombra) y en áreas cubiertas por vegetación herbácea (exposición al sol). La germinación de semillas recién colectadas de *L. leucocephala* fue de 50% en condiciones de sombra y de sol; sin embargo, conforme pasa el tiempo pierden viabilidad. Las semillas de *G. sepium* presentaron 75% de germinación en varios de los tratamientos aplicados, además no perdieron viabilidad después de ocho meses de almacenamiento. Para las plántulas la condición más benéfica para su establecimiento fue la de sombra con una supervivencia de 86% para *L. leucocephala* y de 38% para *G. sepium*. El uso de hidrogel contribuyó a obtener dicha respuesta durante la temporada de secas, al reducir la necesidad de riego.

Palabras clave: Dunas, *Gliricidia sepium*, hidrogel, *Leucaena leucocephala*, plantación experimental, restauración.

ABSTRACT

The tropical dry forests provide important resources to local communities. Knowledge of the local perceptions and species use allows the identification of the species most convenient to begin the restoration of the woody cover and diversity of the dunes. Through interviews, 98 species were identified as useful in the coastal region of Actopan, Veracruz. The most common use were firewood, building poles, live fences, coal, edible and medicinal. *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* were chosen for germination experiments and establishment of a plantation on coastal dunes. Seedlings were placed under the canopy (shade) and in areas covered by herbaceous vegetation, under sun exposure. Germination of the newly collected seeds of *L. leucocephala* was 50% under both conditions, but the stored seeds lose viability. The seeds of *G. sepium* presented 75% of germination in the different treatments, and did not lose viability after eight months of storage. The most beneficial condition for the establishment of seedlings was shade, with 86% survival of *L. leucocephala* and 38% for *G. sepium*. The use of hydrogel helped seedling survival during the dry season and decreased the need to water the plantation.

Key words: Dunas, *Gliricidia sepium*, hydrogel, *Leucaena leucocephala*, experimental plantation, restoration.

Fecha de recepción: 16 de mayo de 2011

Fecha de aceptación: 2 de junio de 2011

¹ Instituto de Ecología A.C., Departamento de Ecología Funcional. Correo-e: patricia_moreno@inecol.edu.mx

INTRODUCCIÓN

Las selvas bajas caducifolias tienen una distribución amplia en México y cubren una superficie de 145 060 km² (INEGI, 2005). Se localizan en la costa del Pacífico, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, con una prolongación notable en el centro del país (Rzedowski, 1978; Durán *et al.*, 2006). También se le encuentra a lo largo de la costa del Golfo de México y en manchones en Tamaulipas, San Luis Potosí y el norte de Veracruz (Sarukhán, 1998; Castillo-Campos *et al.*, 2007). Además, recientemente se han descrito algunos segmentos en Baja California Sur y en el norte de la Península de Yucatán (Rincón *et al.*, 1999; Díaz-Gallegos *et al.*, 2002). Se desarrollan en suelos poco formados, sobre malpais y, en algunos casos, sobre sustratos arenosos, como la de la zona costera en los estados de Tamaulipas y Veracruz, misma que colinda con ecosistemas de dunas con diferente grado de estabilización (móviles o cubiertos de pastizales); en esta última entidad también se asocian con selvas medianas subcaducifolias (Castillo-Campos y Medina, 2002; Castillo-Campos *et al.*, 2007).

Esta asociación vegetal ha sido modificada a través del tiempo hasta en 78% de su área original a nivel mundial (Houghton *et al.*, 1991). De hecho, desde la Conquista Española, la de la costa Mesoamericana del Pacífico ha reducido su extensión en un 98% (Janzen, 1988). En México esto obedece a varias razones, entre las que destacan la ganadería extensiva (58%), la extracción de madera (21%), la agricultura (14%) y los incendios forestales (7%). INE-SEDESOL (1993), así como Flores y Gerez (1994), estiman que en 1981 la cobertura de la selva baja caducifolia a nivel nacional era del 12.36%, de la cual sólo 8.92% no presentaba perturbaciones graves, mientras que para 1990 la cobertura sin alterar de este tipo de vegetación era de 6.98%, únicamente, quedando así 27% de la superficie original (Trejo y Dirzo, 2002). En 1992, la tasa de deforestación anual estimada para esta selva fue de 163,000 ha (Rincón *et al.*, 1999). En un estudio de paisaje se observó que la selva baja caducifolia era el tipo de vegetación más alterado de la zona costera en la planicie baja central del Golfo de México (Travieso-Bello y Campos, 2006).

Un estudio de 20 sitios de selva baja en México demostró una gran diversidad florística por sitio además de un recambio alto de especies, ya que de un total de 917, 72% estaban reunidas en uno solo de ellos (Trejo y Dirzo, 2002) En este mismo tipo de comunidad, pero sobre sustrato arenoso, de la zona de La Mancha, Veracruz, se ha consignado la presencia de 84 especies. Un análisis del tipo de especies mostró que las primarias representan 56% de la riqueza, mientras que las secundarias 44% (Travieso-Bello, 2000). Estos valores destacan la importancia de conservar la diversidad de estas comunidades y de buscar alternativas

INTRODUCTION

Tropical dry forests have a broad distribution in Mexico and display over 145,060 km² (INEGI, 2005). They are found in the coast of the Pacific, from the South of Sonora State to Chiapas State, with an important extension at the center of the country (Rzedowski, 1978; Durán *et al.*, 2006). It is also found along the coast of the Gulf of Mexico and in stands in the States of Tamaulipas and San Luis Potosí and the north of Veracruz (Sarukhán, 1998; Castillo-Campos *et al.*, 2007). In addition, some segments have been recently described in Baja California Sur State and in the North of Península de Yucatán (Rincón *et al.*, 1999; Díaz-Gallegos *et al.*, 2002). They develop on immature soils, over "malpais" and, in some cases, over sandy soils, such as the tropical dry forests of the coast zone in the states of Tamaulipas and Veracruz, which neighbors dune ecosystems with different degree of stabilization (mobile or cover by grass lands) and it is also associated with middle tropical dry forests (Castillo-Campos y Medina, 2002; Castillo-Campos *et al.*, 2007).

This vegetal association has been modified world wide through time up to 78 % from its original territory (Houghton *et al.*, 1991). In fact, since the Spanish Conquest, the one at the Mesoamerican coast of the Pacific has reduced its space in 98% (Janzen, 1988). In Mexico, several reasons explain this situation such as extensive livestock (58%), wood extraction (21%), agriculture (14%) and forest fires (7%). INE-SEDESOL (1993), as well as Flores and Gerez (1994), estimate that in 1981 the tropical dry forest cover of the national territory was 12.36%, of which only 8.92% did not have serious disturbance, while in 1990 the vegetation of this type without alterations was of only 6.98%, which left 27% of the original land (Trejo y Dirzo, 2002). In 1992, the estimated annual deforestation rate for this type of forest was 163,000 ha (Rincón *et al.*, 1999). In a landscape study was observed that the tropical dry forest was the most disturbed vegetation type of the coast zone in the low central plains of the Gulf of Mexico (Travieso-Bello y Campos, 2006).

A study of 20 sites of tropical dry forest in Mexico confirmed a great floristic diversity per site besides a high species rechange, as from a total number of 917, 72% were present just in one of them (Trejo and Dirzo, 2002). In the same type of community, but over sandy substrate, in the zone of La Mancha, Veracruz State, 84 species have been recorded. Through a species analysis, it was proved that 56% were primary, and 44% secondary species (Travieso-Bello, 2000). These values emphasize the importance to keep the diversity of these communities and to look for options that guarantee their sustainable management and the conservation of this national wealth.

The tropical dry forests over Sandy substrates are exposed to wind, salt dispersal, sand movement and high temperatures

para garantizar su manejo sustentable y la conservación de este patrimonio.

Las selvas bajas caducifolias sobre sustratos arenosos están expuestas al viento, a la aspersión salina, al movimiento de arena y a temperaturas altas (más de 50°C en la superficie de la arena). La interacción de estos factores afecta directamente la capacidad germinativa de las semillas y la habilidad de las plántulas por permanecer vivas por largo tiempo (Moreno-Casasola, 1973; Moreno-Casasola *et al.*, 1982; López, 2007).

Antes de que las semillas germinen en las dunas, enfrentan diversos factores adversos tanto físicos como biológicos que pueden causarles daño e inclusive la muerte: depredación, ataque por hongos u otros organismos, desecación y enterramiento. Maun (1994) menciona que las variaciones espaciales y temporales en el sustrato causadas por el viento y la acción de las temperaturas fluctuantes que se presentan en estos ecosistemas, crean condiciones severas para la germinación, emergencia de plántulas y su establecimiento, pudiendo ocurrir pérdidas grandes (en ocasiones más del 99%) entre la maduración de las semillas y la emergencia de las plántulas. Stebbins (1971) menciona que en la historia de vida de las plantas, el establecimiento de las plántulas es quizás el eslabón más débil para el mantenimiento de las poblaciones o en la colonización de nuevas áreas. La supervivencia de las plántulas en las dunas está influenciada por un gran número de factores bióticos y abióticos, entre los que destacan la desecación, la aspersión salina, el bajo contenido de nutrientes y las altas temperaturas en la superficie del suelo, el enterramiento por arena y la exposición de las raíces por la erosión, la depredación, la competencia y las enfermedades (Payne y Maun, 1984; Martínez *et al.*, 1993; Maun, 1994; Yanful y Maun, 1996).

El objetivo del presente trabajo fue reconocer las características de germinación y supervivencia en campo de dos taxa arbóreos locales de interés para las comunidades que utilizan los sistemas de dunas costeras a fin de aportar información y técnicas que permitieran a los pobladores enriquecer la composición de especies de los acahuales y de las selvas bajas caducifolias sobre dunas costeras, con especies forestales nativas. Complementariamente a este objetivo, se aplicó un cuestionario para seleccionar las especies más útiles y conocer el interés de la comunidad por sembrarlas en los acahuales y selvas bajas de dunas costeras.

Los resultados obtenidos forman parte del proyecto "Germinación, crecimiento y supervivencia de especies nativas de acahuales de selva baja de zonas costeras, importantes en la restauración" (No. 14766), financiado por la Comisión Nacional Forestal y la Comisión de Ciencia y Tecnología. En él se trabajó con dos poblaciones de ejidatarios

(over 50°C on the sand surface). The interaction of these factors affects directly the germinative capacity of the seeds and the ability of the seedlings to keep alive for a long time (Moreno-Casasola, 1973; Moreno-Casasola *et al.*, 1982; López, 2007).

Before seeds emerge from the dunes, they face several adverse physical and biological factors that may cause them damage and even death: predation, fungi or other organism attacks, dehydration and burial. Maun (1994) states that the space and temporal variations of the soil caused by wind and the fluctuating temperatures of these ecosystems create severe conditions for germination, seedling emergence and establishment, which could lead to great losses (some times over 99%) between seed maturation and the emergence of seedlings. Stebbins (1971) points out that in the life history of plants, seedling establishment is probably the weakest link for the maintenance of populations or for the colonization of new areas. The survival of seedlings in dunes is influenced by a great number of biotic and abiotic factors, from which, as has been mentioned before, salt spraying, desiccation, the low nutritive content and the high temperatures of the surface of the soil, sand burial and the exposure of roots to erosion, predation, competence and diseases (Payne and Maun, 1984; Martínez *et al.*, 1993; Maun, 1994; Yanful and Maun, 1996).

The aim of the actual work was to know the characteristics of germination and survival at the field of two interesting tree local species for the people that use the coastal dune systems in order to provide information and techniques that may let them enrich the species composition of "acahuales" and of the tropical dry forests over coastal dunes, using native forest species. As a complement to this objective, a questionnaire was applied to select the most useful species and to know if the community was interested in planting tree species into the "acahuales" and tropical dry forests of coastal dunes.

These results are part of the Project whose title is "Germination, growth and survival of native acahual species of tropical dry forests important for the restoration of coastal dunes" (No. 14766), sponsored by the National Forest Commission and the National Science and Technology Council. Field work was made with the assistance of two ejidatario populations of Actopan Municipality, at the coast of Veracruz State, that owned some lands that were convenient for the research study described here.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The experiment was carried out in the coastal dune system located at the North of La Mancha lagoon, in lands that belong to the Ejido de La Mancha and to the La Mancha Coastal

del Municipio de Actopan, en la costa de Veracruz, que poseían terrenos adecuados para la investigación que se describe a continuación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo experimental se realizó en el sistema de dunas costeras localizado al norte de la Laguna La Mancha, en terrenos del Ejido de La Mancha y del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha (CICOLMA) en el municipio de Actopan, en la costa central de Veracruz (19°35'45"N y 96°23'05"W) (Figura 1). La geomorfología, la fisiografía y la vegetación del lugar han sido descritas por García-Gil (2006), Geissert (2006) y Moreno-Casasola y Travieso-Bello (2006), respectivamente.

En la zona el clima es del tipo Aw_2 acorde al sistema de clasificación climática de Köeppen, modificado por García (1981). Se caracteriza por ser cálido subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, y un P/T mayor de 55.3. La precipitación total anual oscila de 899 a 1,829 mm, con un valor medio de 1,286 mm y el mes más lluvioso varía de un año a otro. La temperatura media anual oscila entre los 21.1°C en enero y los 27.3°C en junio. A partir de noviembre hasta febrero se producen frentes fríos que traen descenso de temperatura, vientos con ranchas de hasta 80 km h⁻¹ y en ocasiones lluvias; se denominan "nortes".

Interés local por las especies

Se entrevistó a 35 usuarios del Municipio de Actopan, que viven en la colonia La Mancha (15), playa La Mancha (1), Palmas de Abajo (1) y San Isidro (18). La mayoría de los entrevistados fueron hombres ejidatarios, pequeños propietarios y peones empleados (30 hombres entre ambas localidades), ya que son quienes recorren habitualmente las parcelas ubicadas en el sitio de estudio y aprovechan la madera de distintos árboles como parte de sus labores productivas cotidianas; las mujeres aportaron, sobre todo, información sobre usos medicinales. La edad de los entrevistados fue de entre 16 y 87 años (entre las que predominaban las de 36 a 40 y de 56 a 65 años). Se consideró que en estos poblados habitaban los usuarios que mayor contacto tenían con las dunas, muchos de los cuales tienen terrenos en este ecosistema. La mayoría de los entrevistados son miembros de los ejidos de Palmas de Abajo y de San Isidro. El análisis de los usos que los encuestados dan a las plantas puede consultarse en Moreno-Casasola y Paradowska (2010).

Research Center (CICOLMA) in Actopan Municipality, at the central coast of Veracruz State (19°35'45"N and 96°23'05"W) (Figure 1). Geomorphology, physiography and vegetation have been described by García-Gil (2006), Geissert (2006) and Moreno-Casasola and Travieso-Bello (2006).

The local climate is of the Aw_2 type, according the Köeppen climatic classification system adjusted by García (1981). It is sub-humid warm, with summer rains, and a P/T above 55.3. Annual total precipitation varies from 899 to 1829 mm, with an average value of 1,286 mm and the most rainy month changes from one year to the other. Annual average temperature varies from 21.1°C in January to 27.3°C in June. From November till February cold fronts appear, which bring a descent in temperature, winds up to 80 km h⁻¹ and occasional rain; they are known as "nortes" (norths).

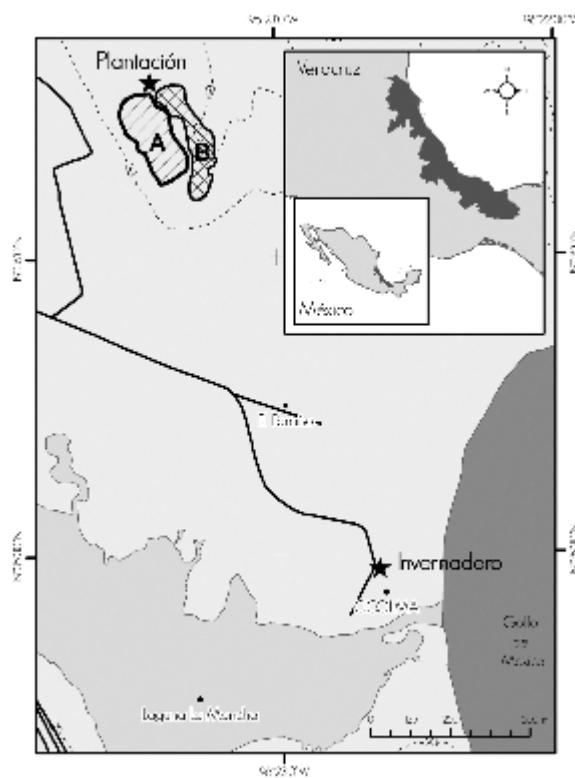


Figura 1. Zona de La Mancha, Actopan, Ver. Se indica la localización del invernadero y de la plantación experimental. A. Pastizal natural (tratamiento exposición al sol), B. Núcleo arbóreo (tratamiento sombra).

Figure 1. La Mancha Zone, Actopan, Ver. The greenhouse and the experimental plantations are shown here. A. Natural grass land (sun exposure treatment); B. Tree nucleus (shade treatment).

Germinación

Para las pruebas de germinación se colectaron semillas maduras de dos fabáceas, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, de varios frutos de, por lo menos, cinco adultos por especie en individuos establecidos en las dunas, separados entre sí por lo menos 50 m. La mitad de las semillas se utilizó inmediatamente (antes de 3 días) y se consideraron como recién colectadas; la otra mitad se almacenó durante ocho meses en bolsas de papel en un laboratorio del Instituto de Ecología A. C., en Xalapa, Ver., es decir en un clima templado. Se buscaba conocer la respuesta germinativa en el tiempo.

Las pruebas de germinación se llevaron a cabo en el invernadero del CICOLMA, ubicado junto al sistema de dunas. Se utilizaron charolas de plástico (30 x 23 x 12 cm de alto), perforadas en la base, con sustrato formado por una capa de 5 cm de arena proveniente de las propias dunas, lavada previamente bajo agua corriente hasta obtener una conductividad nula. En cada tratamiento se usaron 4 lotes de 25 semillas (Pemadasa y Lovell, 1975). Los tratamientos siempre se llevaron a cabo sobre sustrato arenoso, regándose

Local interest for the species

Thirty five users of Actopan Municipality that live in La Mancha (15), playa La Mancha (1), Palmas de Abajo (1) and San Isidro (18) were interviewed. They were ejidatarios, men, landowners of small extents and employees (30 men in both locations), since they are who regularly walk over the lot at the study place and use the wood from different trees as part of their everyday productive labors; women contributed, mainly, with information about medical use. The age of this population was between 16 and 87 years (from which prevailed two ranges, from 36 to 40 and from 56 to 65). It was assumed that in these towns lived the people with closest relation to dunes, many of which own lands in this ecosystem. Most of those who were interviewed belong to the ejidos of Palmas de Abajo and San Isidro. The analysis of plant use from this survey is available in Moreno-Casasola and Paradowska (2010).

Germination

For the germination tests were collected mature seeds of the Fabaceae, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth and *Leucaena*

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos de germinación a los que se expusieron las semillas de *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*.
Table 1. Description of germination treatments to which seeds of *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* were exposed

Tratamiento	Almacenamiento de semillas		Descripción de factores		
	Recién colectadas	Almacenadas 8 meses	Luz	Riego	Sustrato
i) Control (Sombra)	Si	Si	Sombra de invernadero	Cada tercer día	Arena
ii) Sol	Si	Si	Expuestas al sol	Cada tercer día	Arena
iii) Sequía	Si	Si	Sombra de invernadero	Cada siete días	Arena
iv) Sustrato	Si	Si	Sombra de invernadero	Cada tercer día	50% arena 50% tierra

En negritas se indica el factor que varió con respecto al control.
Bold letters indicate the factors that vary with respect to the control.

un día sí y otro no, excepto cuando se indica algo distinto, y fueron: i) a la sombra en el invernadero bajo la mesa para que las fluctuaciones de temperatura fueran menores y no recibieran luz solar directa (denominado sombra); ii) exposición directa a la luz del sol (denominado sol); iii) sequía con riego cada siete días (denominado sequía hasta considerar que el sustrato estaba saturado); iv) exposición directa a la luz del sol (denominado sustrato), sobre sustrato 50% arena y 50% tierra (Cuadro 1). El testigo en todos los casos fue el tratamiento de sombra. Se contó el número de semillas germinadas cada tercer día, mismas que se retiraban de la charola; el experimento tuvo una duración de 30 días para *G. sepium* y de 45 días para *L. leucocephala*. El criterio de germinación fue la protrusión de la radícula (Mayer y Boye, 1981).

Supervivencia y crecimiento en una plantación

Las plántulas de *G. sepium* y *L. leucocephala* se propagaron mediante semillas colectadas como se especificó en la sección anterior. Las plántulas se colocaron en bolsas de plástico (1 L capacidad) con arena de la zona de dunas. A los cuatro meses de edad se plantaron en campo utilizando hidrogel como sustrato almacenador de agua. A los cuatro meses las plántulas de *L. leucocephala* tenían una altura mínima de 80 cm y las de *G. sepium* de 30 cm. Se seleccionaron plantas de tamaño similar dentro de cada especie para la plantación. Se utilizó hidrogel debido a las condiciones estresantes que representan las dunas, y por cada planta se utilizó 1 L de hidrogel. En trabajos anteriores cita tanto de ecología de plántulas como de siembras realizadas por los lugareños, hubo mortandades altas al secarse las plántulas. Se consideró que el hidrogel incrementaría las posibilidades de éxito al mantener más tiempo la humedad en el suelo y reducir la frecuencia y esfuerzo de riego que la plantación en campo requeriría durante la temporada de secas. Pruebas piloto realizadas anteriormente mostraron que el hidrogel permitía espaciar el riego y mostraba un crecimiento radicular mayor que en plantas que no lo tenían cita.

El establecimiento de la parcela experimental se realizó el 10 de agosto de 2006, para lo cual se consideraron dos ambientes, siempre con una cobertura de pastos o matorrales sobre la arena: i) bajo sombra en un núcleo de vegetación arbórea y ii) en zonas abiertas, expuestas al sol. Se ocuparon terrenos ejidales y se contó con el apoyo de los ejidatarios para el monitoreo del crecimiento y riego de las plántulas. En cada condición se plantaron 50 ejemplares por cada especie.

Las fechas de monitoreo correspondieron al 2 de septiembre del mismo año, así como el 17 de enero, 27 de mayo y 11 de agosto del 2007. Para evaluar las condiciones de

leucocephala (Lam.) de Wit, from several fruits, at least of five adults per specie of individuals established in the dunes, apart from each other, at least by 50 m. Half of the seeds was used immediately (before 3 days) and were taken as freshly collected; the other half was stored during eight months in paper bags in a laboratory of the Instituto de Ecología A. C., in Xalapa, Ver., that is, in a mild weather. What was being traced was the germinative response in terms of time.

Germination tests were carried out in CICLOMA greenhouse, which is located near the dune system. Plastic trays (30 x 23 x 12 cm) were used, with perforations at the base; the substrate was made by a 5 cm layer of sand from the dunes, which was previously washed with running water until there was no more electric conductivity. Four lots of 25 seeds each were used for each treatment (Pemadasa and Lovell, 1975). All the treatments were made on sandy substrate, and watering was applied once every three days, except when something different was advised, and were as follows: i) shadow in the greenhouse under a table to diminish temperature fluctuations and that did not get direct sunlight (named "shadow"); ii) direct exposure to sunlight (named "sun"); iii) drought with watering every seven days (named "drought" until the substrate was saturated); iv) direct exposure to sunlight (named "substrate"), over a mixture of 50% sand +50% ground (Table 1). In all cases, control was the shadow treatment. The germinated seeds were counted and removed from the tray; the experiment lasted 30 days for *G. sepium* and 45 days for *L. leucocephala*. The germination criterion was the protruding radicle (Mayer and Boye, 1981).

Survival and growth in a plantation

The propagation of *G. sepium* and *L. leucocephala* was accomplished by the freshly collected seeds, as previously described. Seeds were put into paper bags (1L) with wand from the dunes. After four months, they were planted in the field with hydrogel as this substrate can store water. After four months, the seedlings of *L. leucocephala* had 80 cm as minimum height and those of *G. sepium*, 30 cm. Plants with similar size of each species were selected for the plantation. Hydrogel was used since the stressing conditions that dunes have, and for each plant, 1 L was used. In previous studies of seedling ecology and of sowing made with the neighbors, there was high mortality as the plants dried. It was considered that this product would increase their success as it can keep for a longer time the moisture of the soil and would reduce the frequency and effort of watering that the plantation demands during the drought season. Preliminary tests showed that this product made it possible to space watering and showed a greater root growth than in plants that did not have it.

On August 10th, 2006, the experimental lot was established, for which two environments were considered, always with a grass or scrub cover over the sand: i) in a shadow in a tree

la planta se utilizaron las siguientes categorías: i) planta con hojas turgentes, es decir, que no manifestaban señales de debilitamiento o deshidratación y que, además, portaban brotes o mostraban crecimiento apical (se tomó como una planta ya aclimatada), ii) planta con hojas semi-turgentes o sin hojas, pero con pequeños brotes (planta en proceso de aclimatación), iii) plantas muertas. Se obtuvo el área basal de cada planta a través de medir el diámetro del tallo con un vernier electrónico y la altura de las plantas se midió con un flexómetro.

Análisis de datos

Los resultados de germinación se analizaron por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías de medidas repetidas comparando el testigo con cada tratamiento. Se utilizaron los porcentajes de germinación por tiempo de almacenamiento de las semillas (recién colectadas y ocho meses de almacenamiento) y por cada tratamiento comparadas con el control (Cuadro 1). Para satisfacer los supuestos del ANOVA se hizo una transformación de Arcoseno de los porcentajes de germinación. Se consideraron diferencias significativas entre tratamientos con una $P < 0.05$ cuando el análisis de varianza detectó un efecto significativo (Zar, 1999). El paquete estadístico en el que se apoyaron los análisis fue Statistica versión 6.0 (Stat Soft Inc., 2001).

Para comparar la supervivencia de las plántulas por especie en condición de sombra o sol se aplicaron las pruebas de X^2 , al número de plantas (frecuencias) vivas por condición al final del monitoreo. Se consideró la supervivencia de *G. sepium* y *L. leucocephala* al año de establecidas. Se graficó la supervivencia y el crecimiento de la cohorte por especie, mediante la altura y el área basal de cada individuo que seguía vivo en cada monitoreo.

RESULTADOS

Especies de interés para la comunidad

Con los resultados de la encuesta se confirmó que las dunas costeras son ecosistemas utilizados intensamente por la población que vive en la zona y para ellos reúnen gran valor, sobre todo utilitario. Los entrevistados mencionaron 98 especies de plantas que se distribuyen sobre los médanos y áreas próximas a los asentamientos humanos, entre árboles, palmas, arbustos, hierbas y cactus, en su mayoría silvestres. Con excepción de 16 plantas, las demás especies son árboles, arbustos o palmas. Casi la mitad de las 69 especies mencionadas como útiles, son usadas para leña (32 taxa) y la construcción de casas (27), un tercio sirve para postes (23), algunas para cerca viva (8) y dos para la producción de carbón. Los usos comestible y medicinal también son significativos (17 especies para cada uso). Con algunas especies se elaboran utensilios como yugos,

vegetation nucleus and ii) in open zones, with sun exposure. Ejido lands were occupied and support was provided by the ejidatarios for the monitoring of growth and the watering of plants. 50 examples were planted in each condition.

The monitored dates were September 2nd of the same year, as well as January 17th, May 27th and August 11th of 2007. In order to assess the plants, the following categories were used: i) plants with turgid leaves, that is, that they did not show any weakness signs or dehydration and that, also, had shoots or showed apical growth) it was taken as an already acclimatized plant), ii) plant with semi-turgid leaves or without leaves, but with small sprouts (plant in the acclimatization process), iii) dead plants. The basal area of each plant was determined by measuring the diameter of the stem with an electronic vernier and the height of the plants, with a flexometer.

Data analysis

Germination results were analyzed by a two way Analysis of Variance (ANOVA) of repeated measures comparing the control with each treatment. Germination per cent according to the time of seed storage (recently collected and with 8 months) were used and for each treatment compared to control. In order to satisfy the ANOVA assumptions, a transformation of Arcsen was made of the germination per cents. Significant differences per treatment with a $P < 0.05$ were considered when the analysis of variance detected a significant effect (Zar, 1999). Statistica v 6.0 (Stat Soft Inc., 2001) was used as a support program.

To compare seedling survival per species in the shadow or sun condition, X^2 tests were applied to the number of plants (frequencies) per condition at the end of monitoring. The survival of *G. sepium* and *L. leucocephala* was considered a year after their establishment. Survival and growth of the cohort by each species was drawn as a graphic, by means of height and basal area of each individual that was alive in each monitoring.

RESULTS

Interesting species for the community

The results of the survey confirmed that the coastal dunes are ecosystems intensely used by the population that live in the area and they have a great value, particularly, of use. The persons that were interviewed mentioned 98 plant species that are distributed over swamps and areas near by housing, among trees, palms, shrubs, herbs and cactus, most of them, wild. Except for 16 plants, the rest of the species are trees, shrubs or palms. Almost half of the 69 species addressed as useful, are used for firewood (32 species) and house building (27), a third part for posts (23), some for live fences (8) and two for the production of coal. Edible and medicinal uses

bateas, mangos, cabos de azadón, garrotes, botes y cayucos (6) y muebles (3). Varias especies son reconocidas por proporcionar sombra (10), alimento para el ganado (5), su potencial para apicultura (3) o valores ornamentales (2). Se mencionaron tres especies de árboles que los usuarios de las dunas consideran dañinos o indeseables en sus parcelas (por ser tóxicos para los animales o criaderos de insectos) aunque también les proporcionan beneficios ambientales.

Entre ellos reconocen que las dunas y su vegetación protegen a la zona de la destructiva influencia del mar y viento durante los nortes y los huracanes (1), al actuar como cortinas o bien al fijar el suelo (4); ofrecen hábitat para las plantas y animales (3), un sitio para realizar investigaciones (1), así como los valores recreativos de los médanos (4 personas). En total se registraron 14 menciones a los servicios ambientales.

Un aspecto interesante de los resultados de la encuesta fue conocer la percepción e interés de los usuarios por sembrar y por desarrollar plantaciones de las especies que consideran útiles, así como por comercializar la madera (Cuadro 2).

Cuadro 2. Nombre común y científico de la especie, interés de las personas por sembrar cada especie (número de personas que contestaron la pregunta en particular) y comercialización actual.

Table 2. Common and scientific names of species, interest of local people in planting (number of people answering that particular question) species and actual marketing.

Nombre común	Nombre científico	Interés por sembrar	No hay interés por sembrar	Comercialización
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	22	2	Venta local y maderería
Amarillo	<i>Diphysa robinoides</i> Benth	20	5	Venta local
Cocuile	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth	10	4	Venta local
Roble	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) A. DC.	9	4	Venta local
Nacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	7	12	Venta local y maderería
Pino	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	6	3	No se reportó
Palo de rabia	<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Zucc.	4	0	Venta local
Moquillo	<i>Cordia dentata</i> Poir.	3	2	Venta local
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King	3	1	Maderería
Espino blanco	<i>Acacia cochliacantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	3	3	Venta local
Flor de día	<i>Tabebuia chrysantha</i> G. Nicholson	3	1	No se reportó
Palma de coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	3	1	Venta local
Nanche (agrio y dulce)	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	2	0	No se reportó
Piñón	<i>Jatropha curcas</i> L.	2	0	No se reportó
Higuera	<i>Ficus</i> spp.	2	0	No se reportó
Coyol de bellota	<i>Sabal mexicana</i> Mart.	1	1	Venta local
Cruetillo	<i>Randia monantha</i> Benth.	1	2	No se reportó

are also significant (17 species for each use). With some species utensilies are made, such as: yokes, rustic wood pans, handles, hoe stick, clubs, boats and dugout canoe (6) and furniture (3). Several species are acknowledged to produce shadow (10), food for livestock (5) for apiculture (3) or for their ornamental value (2). The dune- users mentioned three tree species as harmful or undesirable in their lots (as they are toxic for the animals or as they act as a breeding place for insects), even though they also provide environmental benefits.

They do accept that dunes and their vegetation protect the zone of the destructive influence of the sea and hurricanes (1), as they act as curtains or as they secure the soil (4); they offer a habitat for plants and animals (3), a place to do research (1), as well as recreative values in the sand banks (4 people). Fourteen references were recorded in regard to environmental services.

An interesting side of the results of the survey was to know the perception and interest of the users to saw and raise plantations of the species considered useful, as well as to commercialize wood (Table 2).

Germinación de semillas

La germinación de *L. leucocephala* es afectada principalmente por el tiempo de almacenamiento de las semillas; el tratamiento de sustrato presentó diferencias (Cuadro 3 y Figura 2), y en todos, la germinación resultó menor a 45%. Los tratamientos de sol y sequía, al contrastarlos con el testigo (sombra) mostraron que la germinación fue igual (Figura 2 A, B y C). Sin embargo, en estos tratamientos el proceso mostró un decrecimiento en la germinación del número de semillas que se almacenaron durante 8 meses (25-28%) con respecto a las que no fueron almacenadas (39-41%). La correspondiente al de sustrato (arena-tierra) fue de 16.5%, difiriendo así del testigo en el que fue de 33.5% (Figura 2D).

Germination of seeds

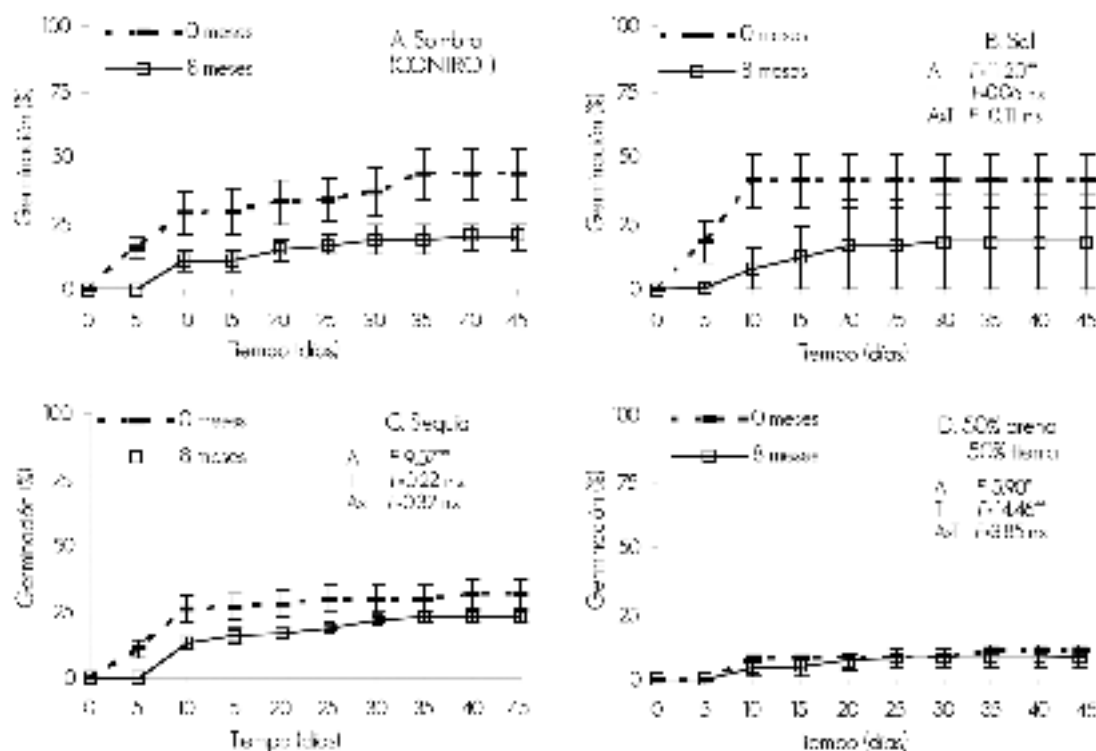
The germination of *L. leucocephala* is affected by the time of seed storage; the substrate treatment showed differences (Table 3 and Figure 2), and in all of them, germination was lower than 45%. The sun and drought treatments, when compared with the control (shadow), indicated that germination behaved in the same way (Figure 2A, B and C). However, in these treatments the process suffered a decrease in the germination of the number of seeds that were stored during 8 months (25-28%) in regard to those that were not stored (39-41%). The one that corresponds to substrate (sand-soil) was 16.5%, which differs from the control in which it was 33.5% (Figure 2D).

Cuadro 3. Análisis de varianza de dos niveles (almacenamiento y tratamiento) de medidas repetidas de la germinación de *Leucaena leucocephala*.

Table 3. Variance analysis with two levels (storage and treatment) and repeated measures of germination data of *Leucaena leucocephala*.

Fuente	gl	Tratamiento		
		Luz (Sombra vs. sol)	Humedad (Riego cada tercer día vs. riego cada 7 días)	Sustrato (Arena vs. arena-tierra)
		F	F	F
Efectos dentro de factores				
Tiempo	9	58.60***	62.57***	42.34***
Tiempo*Almacenamiento	9	7.54***	3.64***	3.29**
Tiempo*Tratamiento	9	1.39 n.s.	0.65 n.s.	10.34***
Tiempo*Almacenamiento* Tratamiento	9	1.06 n.s.	1.19 n.s.	2.04*
Error (Tiempo)	108			
Efectos entre factores				
Almacenamiento	1	11.20**	9.57**	5.90*
Tratamiento	1	0.06 n.s.	0.22 n.s.	14.46**
Almacenamiento*Tratamiento	1	0.11 n.s.	0.32 n.s.	3.85 n.s.
Error	12			

Las comparaciones de cada tratamiento se realizaron con respecto al Testigo. gl= grados de libertad; *P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; n.s. no significativo. Comparisons in each treatment were made with respect to the control. gl= degrees of freedom; *P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; n.s. non significant.



A= Sombra; B= Sol; C= Sequía y D= Sustrato arena/tierra. Se muestra el valor de F de cada tratamiento con respecto al control. A=Almacenamiento; T= Tratamiento; AxT= Interacción Almacenamiento-Tratamiento. *P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; n.s. no significativo.
 A= Shadow; B= Sun; C= Drought and D= Sand/soil substrate. The F value is shown for each treatment in regard to control. A=Storage; T= Treatment; AxT= Storage-Treatment Interaction. *P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; n.s. non significant.

Figura 2. Porcentaje acumulado de germinación (± error estándar) de *Leucaena leucocephala* a través del tiempo.
 Figure 2. Accumulated per cent of germination (± standard error) of *Leucaena leucocephala* through time.

La capacidad de germinación de *Gliricidia sepium* no se altera por el tiempo de almacenamiento de las semillas ni por el tratamiento, aunque en el sustrato formado por arena/tierra el porcentaje de germinación (46%) difiere del correspondiente al testigo (control) (65.5%) (Cuadro 4). La velocidad de germinación estuvo influida por la edad de la semilla, siendo más lenta con semillas que habían sido almacenadas durante ocho meses, ya que se inicia antes en los tratamientos con semillas recién colectadas. Bajo todas las condiciones, la germinación superó 45% (Figura 3A, B, C y D).

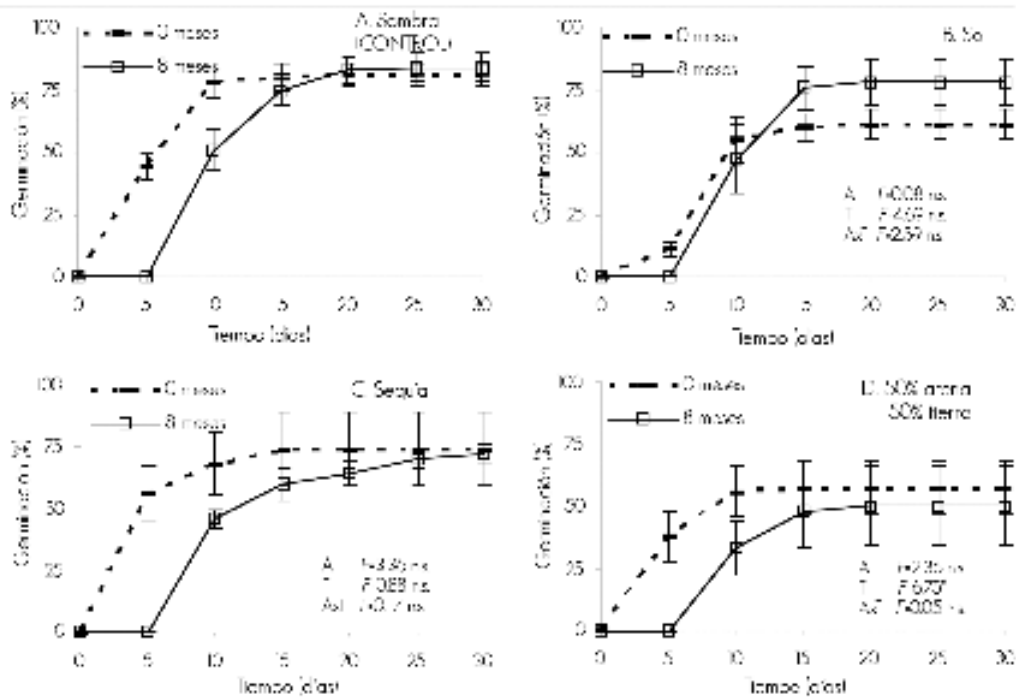
Supervivencia y crecimiento de las especies en el campo

El guaje (*L. leucocephala*) presentó un mayor porcentaje de supervivencia en condiciones de sombra (86%) con respecto

The germinative capacity of *Gliricidia sepium* is not affected by the time of seed storage or by the treatment, even if in the substrate made up by sand/soil, the germination per cent (46%) differs from that of the control (65.5%) (Table 4). The speed of germination was influenced by the age of the seed, being slower that of the stored seed, as the recently collected start first. Under all treatments, germination was over 45% (Figure 3A, B, C and D).

Survival and growth of the species in the field

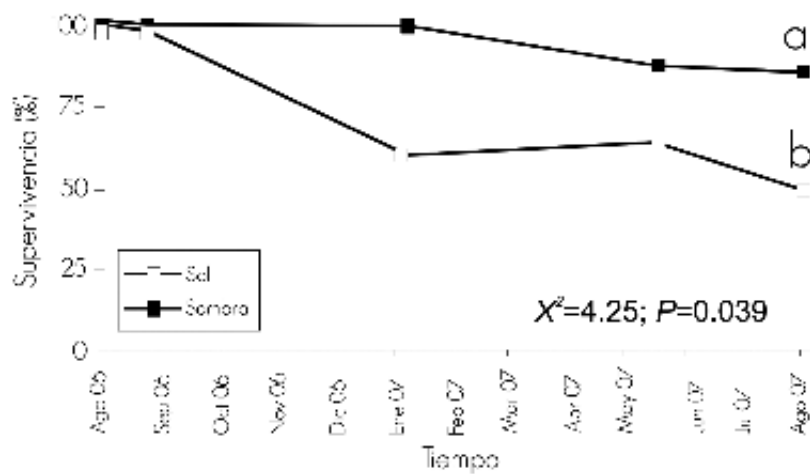
“Guaje” (*L. leucocephala*) showed a higher survival per cent in the shadow (86%) in regard to the sun treatment, where establishment was 50% ($\chi^2=4.25$; $P=0.039$) (Figure 4). Seedlings under shadow reached an average height of 112 mm and a



A= Sombra; B= Sol; C= Sequía y D= Sustrato arena/tierra. Se muestra el valor de F de cada tratamiento con respecto al control, A= Almacenamiento; T= Tratamiento, AxT= Interacción Almacenamiento-Tratamiento. *P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; ns. no significativo. A= Sombra; B= Sol; C= Sequía y D= Sustrato arena/tierra. Se muestra el valor de F de cada tratamiento con respecto al control, A= Almacenamiento; T= Tratamiento, AxT= Interacción Almacenamiento-Tratamiento. *P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; ns. no significativo.

Figura 3. Porcentaje acumulado de germinación (\pm error estándar) de *Gliricidia sepium* a través del tiempo.

Figure 3. Accumulated per cent of germination (\pm standard error) of *Gliricidia sepium* through time.



Letras diferentes indican diferencias significativas. luz. El monitoreo se realizó de agosto de 2006 a agosto de 2007. Different letters show significant differences. Monitoring was made from August 2006 to August 2007.

Figura 4. Porcentaje de supervivencia de las plántulas de *Leucaena leucocephala* plantadas en dunas costeras en dos condiciones de luz.

Figure 4. Survival per cent of *Leucaena leucocephala* seedlings planted in coastal dunes under two light conditions.

al tratamiento de sol, en donde el establecimiento fue de 50% ($\chi^2=4.25$; $P=0.039$) (Figura 4). Las plántulas bajo sombra alcanzaron una altura promedio de 112 mm y un área basal de 42 mm² (Figura 5 A y B). De las que se plantaron en el sol, algunas mantuvieron un único tallo, aumentando así su altura, pero en otras, el tallo principal se murió para después rebrotar desde la base con dos o más tallos, por lo que se llegaron a medir 40 cm de alto, aún después de un año de plantadas. Por el contrario, en las que mantuvieron su tallo, se registraron alturas entre 1.5 y 2 m en este mismo lapso (Figura 5 C y D).

basal area of 42 mm² (Figure 5 A and B). Some of those planted under the sun, kept their only stem, thus increasing their height, but in other, the main stem died and later produced new shoots from the base with one or more stems, which favored that they would get as tall as 40 cm, even a year after having been planted. On the other side, those which kept their stem recorded heights between 1.5 and 2 m in that same period (Figure 5 C and D).

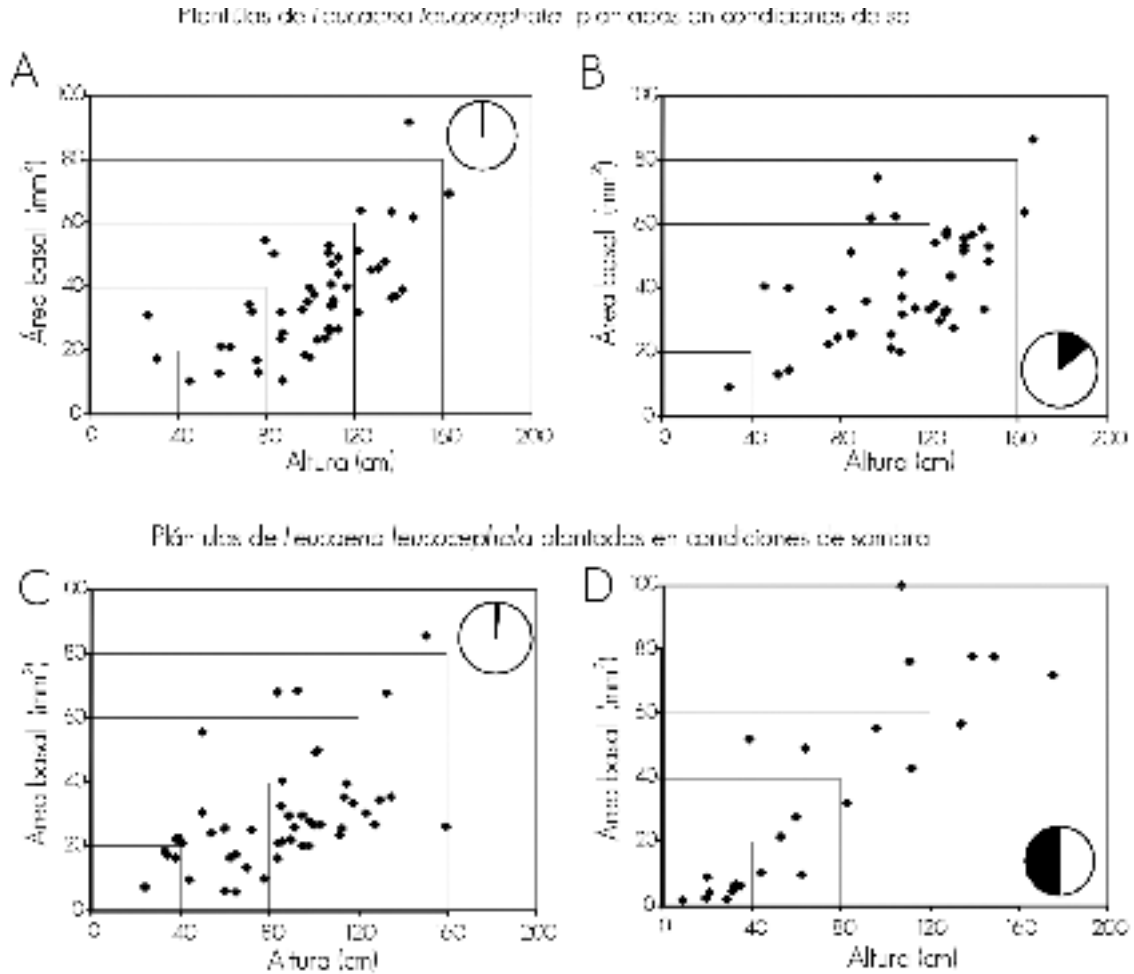
Cuadro 4. Análisis de varianza de dos niveles (edad y tratamiento) de medidas repetidas de la germinación de *Gliricidia sepium*.
Table 4. Variance analysis with two levels (storage and treatment) and repeated measures of germination data of *Gliricidia sepium*.

Fuente	gl	Tratamiento		
		Luz (Sombra vs. sol)	Humedad (Riego cada tercer día vs. riego cada 7 días)	Sustrato (Arena vs. arena-tierra)
		F	F	F
Efectos dentro de factores				
Tiempo	6	251.11***	244.34***	124.58***
Tiempo*Almacenamiento	6	13.56***	0.17 n.s.	9.99***
Tiempo*Tratamiento	6	1.68 n.s.	22.57***	6.43***
Tiempo*Almacenamiento* Tratamiento	6	1.45 n.s.	0.64 n.s.	0.47 n.s.
Error (Tiempo)	72			
Efectos entre factores				
Almacenamiento	1	0.08 n.s.	3.36 n.s.	2.36 n.s.
Tratamiento	1	4.69 n.s.	0.88 n.s.	6.75*
Almacenamiento*Tratamiento	1	2.59 n.s.	0.17 n.s.	0.05 n.s.
Error	12			

Las comparaciones de cada tratamiento se realizaron con respecto al control. * $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$; n.s. no significativo.

Comparisons in each treatment were made with respect to the control. * $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$; n.s. non significant

A= Shadow; B= Sun; C= Drought and D= Sand/soil substrate. The F value is shown for each treatment in regard to control. A=Storage; T= Treatment; AxT= Storage-Treatment Interaction. * $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$; n.s. non significant



La dispersión de los puntos muestra los cambios en altura y diámetro a través del tiempo. Las gráficas circulares señalan el porcentaje de supervivencia, en color blanco plántulas vivas y en color negro plántulas muertas. A = Plántulas en sombra, septiembre 2006; B= Plántulas en sombra, agosto 2007; C= Plántulas bajo el sol, septiembre 2006; D = Plántulas bajo el sol, agosto 2007.
 Dot dispersal shows changes in height and diameter through time. The circles mean the survival per cent, white refers to live seedlings and black to dead seedlings. A = Seedlings under shadow, September 2006; B= Seedlings under shadow, August 2007; C= Seedlings under sun, September 2006; D = Seedlings under sun, August 2007.

Figura 5. Altura y diámetro de las plántulas de *L. leucocephala* plantadas en las dunas costeras.

Figure 5. Height and diameter of *L. leucocephala* seedlings planted in coastal dunes.

El cocuite (*G. sepium*) presentó 14% de supervivencia en condiciones de sol y de 38% en sombra, siendo esta última condición mejor para su establecimiento ($X^2=4.65$; $P=0.031$). La mayor mortandad de plántulas ocurrió durante los meses de noviembre a febrero durante los cuales se presentan vientos fríos provenientes de Estados Unidos y Canadá (Figura 6). En general, el tallo principal de la plántula de esta especie se seca y, en la siguiente temporada de lluvia, rebrota desde la base, por lo que no presenta un crecimiento notorio en altura entre años (Figura 7A, B, C y D). Las plantas ubicadas en sombra, después de un año, alcanzaron una altura promedio de 30 cm y las de sol, de 17.5 cm (Figura 7C y D).

"Cocuite" (*G. sepium*) showed a 14% of survival under the sun and 38% under the shadow, being the second condition the best for its establishment ($X^2=4.65$; $P=0.031$). The highest mortality of seedlings occurred during the months of November to February when cold winds from the United States of America and Canada become present (Figure 6). Regularly the main stem of this species dries and in the following rain season, it sprouts from the base. Thus, it does not show a notorious growth in height for some years (Figure 7A, B, C and D). The plants located under the shadows, after a year exhibited an average height of 30 cm and those under sun, 17.5 cm (Figure 7C and D).

DISCUSIÓN

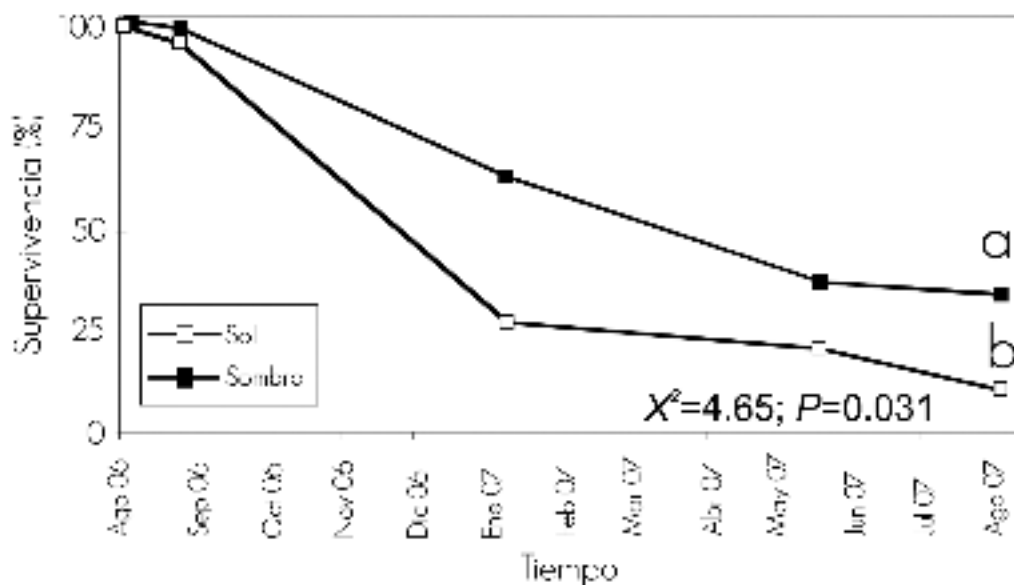
Existe mucha variación en las respuestas sobre el interés por plantar especies que permitan enriquecer acahuales o establecer plantaciones para reforestar las dunas y obtener, ya sea recursos para autoconsumo o para comercialización. El principal interés está en aquellas especies que conllevan una utilidad económica permanente. Las que se usan en la vida diaria, aunque son importantes, se considera que no es necesario cultivarlas porque la naturaleza las aporta. Esta visión reduce notablemente el número de especies para este fin, siendo la más popular el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). Lo anterior plantea la necesidad de promover trabajo y proporcionar educación ambiental a los usuarios para avanzar hacia una sociedad que busque usar y perpetuar los recursos de los cuales vive. Dicha labor debe realizarse previamente a impulsar una reforestación sustentada en elementos técnicos.

Alrededor de la cuarta parte de los encuestados mostró interés en sembrar *G. sepium*, aunque ninguno lo hizo por sembrar guaje. Algunos indicaron, también, que en ocasiones se vende madera de cocuite en la zona, no así de *L. leucocephala*. Cabe hacer notar que ninguna persona usa el follaje de estas especies para alimentar ganado, aunque la primera es una especie que se establece rápido, por lo que sus tallos se usan como estacas para elaborar cerca viva.

DISCUSSION

There is great variation in the responses about the interest to plant species that enrich acahuales or to establish plantations in dunes and thus, to obtain resources for self-supply or for commercialization. The main concern lies in those species with a permanent economic benefit. Those used in every day life, even if they are important, are not appreciated enough as to cultivate them since nature provides them. This appreciation notably reduces the number of species for these endings, from which red cedar (*Cedrela odorata* L.) is the most popular. This states the need to promote work and to provide environmental education to the users to go towards a society that looks forward to harvest and perpetuate the resources with which they live. This must be a previous labor to promote a reforestation that is based upon technical elements.

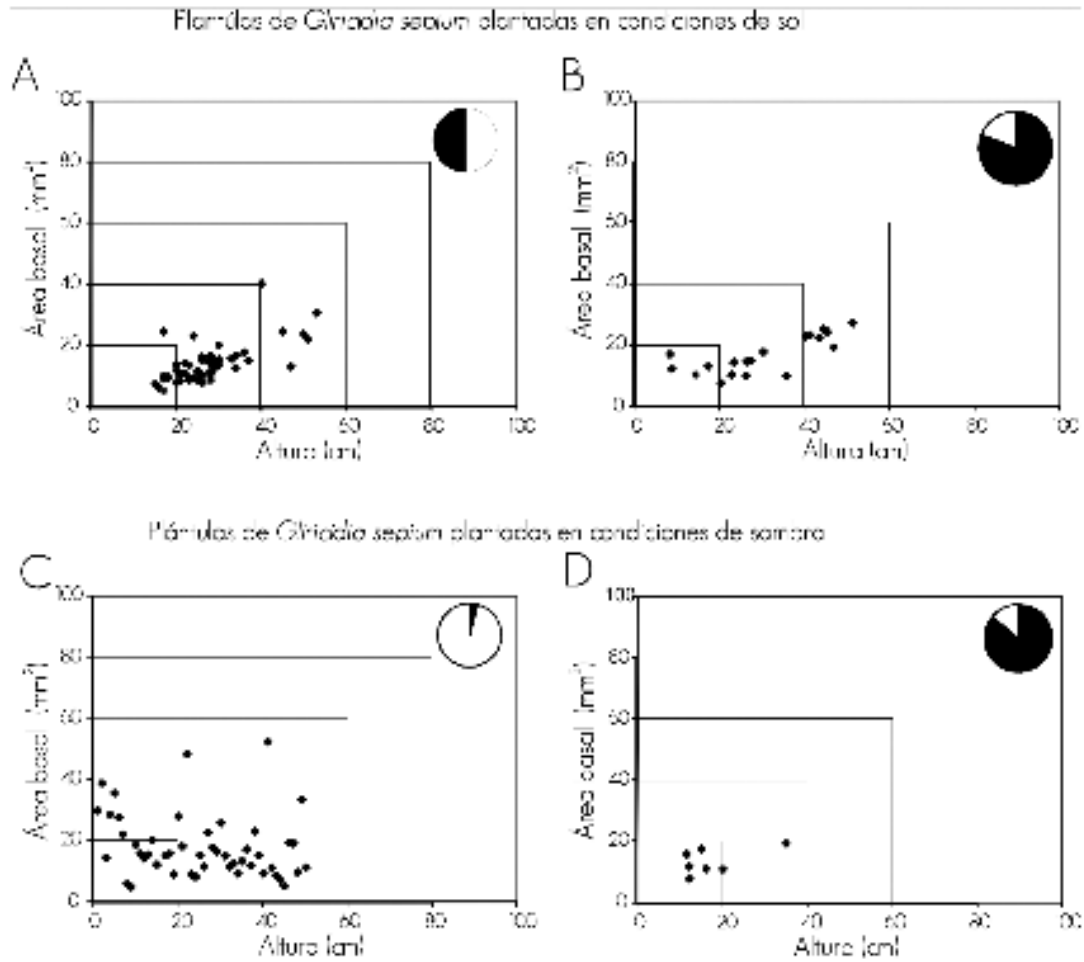
Around the fourth part of the surveyed subjects showed some interest in sowing *G. sepium*, even though no body did to include "guaje". Some pointed out that, occasionally, "cocouite" wood is sold in the area, but not that of *L. leucocephala*. It is worth noticing that no one takes the foliage of these species to feed livestock, even if the first species establishes fast, which favors the use of stakes to form live fences.



Letras diferentes indican diferencias significativas.
El monitoreo se realizó de agosto de 2006 a agosto de 2007.
Different letters show significant differences
Monitoring was made from August 2006 to August 2007.

Figura 6. Porcentaje de supervivencia de las plántulas de *Gliricidia sepium* plantadas en dunas costeras en dos condiciones de luz.

Figure 6. Survival per cent of *Gliricidia sepium* seedlings planted in coastal dunes under two light conditions.



La dispersión de los puntos muestra los cambios en altura y diámetro a través del tiempo. Es importante ver el contraste entre esta figura y la figura 6. Las gráficas circulares señalan el porcentaje de supervivencia, en color blanco plántulas vivas y en color negro plántulas muertas. A = Plántulas en sombra, septiembre 2006; B= Plántulas en sombra, agosto 2007; C= Plántulas bajo el sol, septiembre 2006; D = Plántulas bajo el sol, agosto 2007.

Dot dispersal shows changes in height and diameter through time. It is important to notice the contrast between this figure and Figure 6. The circles mean the survival per cent, white refers to live seedlings and black to dead seedlings. A = Seedlings under shadow, September 2006; B= Seedlings under shadow, August 2007; C= Seedlings under the sun, September 2006; D = Seedlings under the sun, August 2007.

Figura 7. Altura y diámetro de las plántulas de *Glicidia sepium* plantadas en las dunas costeras.
Figure 7. Height and diameter of *Glicidia sepium* seedlings planted in coastal dunes.

Los valores de germinación encontrados son más bajos que los consignados para estas mismas especies por otros autores como Vázquez-Yanez y Toledo (1989). Los tratamientos que más favorecieron el proceso fueron ambientes de sol y de sombra con riego abundante, con semillas recién colectadas, aunque se podría decir que, en general, la sombra y la humedad resultaron ser las condiciones más adecuadas. *L. leucocephala* reduce su respuesta germinativa con el almacenamiento, por lo que se sugiere sembrar material fresco. Una posible explicación a esta diferencia podría encontrarse en las características intrínsecas del propio germoplasma local, ya que ambos taxa tienen amplia distribución en diversos climas y suelos, pero puede ser que haya cierta variabilidad que

The observed germination values are lower than those reported for these same species by authors such as Vázquez-Yanez and Toledo (1989). The most favorable treatments for the process were the sunny and shadow environments with abundant watering, with recently collected seeds, even though it can be stated that, in general, shadow and moisture were the most suitable conditions. *L. leucocephala* reduces its germinative response when stored, which suggests to sow fresh material. A possible explanation for this difference could be in the intrinsic characteristics of the local germ plasm, since both taxa have a broad distribution in diverse climates and soils, but there might be some variability that is

se refleje en estos resultados. Este punto merece ser investigado con mayor profundidad. En las dunas, la vegetación está sujeta a factores limitantes de humedad, altas temperaturas, vientos fuertes con cierta salinidad y competencia con otras especies. Los individuos establecidos en ellas pudieron estar estresados y no todas las semillas ser viables. Sin embargo, para el propósito de contar con germinación y plántulas para una reforestación de estos sitios, los resultados muestran que si es posible hacerlo.

En la plantación, el uso de hidrogel permitió reducir el número de riegos y aplicarlos únicamente durante la temporada de secas, por lo que incorporar este producto representa una sugerencia valiosa para lograr mejores resultados en las reforestaciones comunitarias en ambientes estresantes como las dunas, en las cuales la temperatura de la arena puede superar los 60°C (Moreno-Casasola, 1982). El hidrogel funcionó como un buen almacenador de agua y ayudó a incrementar el establecimiento de las plántulas y a mejorar su supervivencia en la zona de estudio.

Con respecto a lo anterior, *L. leucocephala* responde mejor que *G. sepium*, tanto en condiciones de sombra como de sol. Dichos ejemplares, al año de establecidos, habían crecido hasta una altura de 2 m, lo que sugiere que es una excelente especie que puede actuar como nodriza para plantas introducidas más adelante y que requieren de protección en las zonas abiertas. El porcentaje de establecimiento de las dos especies fue mejor en la condición de sombra y se considera que el dosel de los árboles beneficia a las plántulas al proporcionarles un microambiente más conveniente (menor fluctuación de temperatura, mayor humedad y nutrientes) que la exposición a las altas radiaciones que recibe la vegetación de las dunas estabilizadas con cobertura herbácea. En la zona costera de Actopan los pobladores propagan a *G. sepium* por estaca y, probablemente ésta sea una mejor opción que hacerlo por medio de plántulas.

Las semillas destinadas a la plantación provenían de árboles progenitores de la misma zona. Una recomendación muy importante es el uso de germoplasma local ya que es el que está adaptado genéticamente a las condiciones climáticas de la zona (caluroso, poca precipitación, alta temperatura en dunas, estrés hídrico).

El incluir a las personas de la comunidad en el establecimiento de la plantación favoreció su concientización de los beneficios que les brinda usar sus recursos naturales y mostrarles las especies adecuadas para ambientes como las dunas, además de enseñarles a reconocer las características del entorno que hacen posible que las plantas se desarrollen exitosamente. En este sentido fue necesario partir siempre de una duna ya estabilizada con pastos para evitar que el movimiento de arena fuera un factor más de estrés y mortalidad de la

observada en estos resultados. Este asunto merece una investigación más profunda. En las dunas, la vegetación está sujeta a factores limitantes de humedad, altas temperaturas, vientos fuertes con cierta salinidad y competencia con otras especies. Los individuos que se establecieron allí pudieron haber estado estresados y no todas las semillas ser viables. Sin embargo, los resultados muestran que es posible lograr germinación y plántulas para la reforestación en estos lugares.

El uso de hidrogel permitió reducir el número de riegos, aplicando solo durante la temporada seca; por lo tanto, incorporar este producto es una valiosa sugerencia para lograr mejores resultados en las reforestaciones comunitarias en ambientes estresantes como las dunas, donde la temperatura de la arena puede superar los 60°C (Moreno-Casasola, 1982). El hidrogel funcionó como un buen almacenamiento de agua y ayudó a aumentar el establecimiento de las plántulas y a mejorar su supervivencia en el área de estudio.

En este respecto, *L. leucocephala* responde mejor que *G. sepium*, tanto en sombra como en sol. Estos ejemplares, un año después de establecidos, habían crecido hasta una altura de 2 m, lo que sugiere que es una excelente especie que puede actuar como nodriza para plantas insertadas posteriormente y que necesitan protección en las zonas abiertas. El porcentaje de establecimiento de las dos especies fue mejor en la condición de sombra y se considera que el dosel de los árboles beneficia a las plántulas al proporcionarles un microambiente más conveniente (menor fluctuación de temperatura, mayor humedad y nutrientes) que la exposición a las altas radiaciones que recibe la vegetación de las dunas estabilizadas con cobertura herbácea. En la zona costera de Actopan, los habitantes propagan *G. sepium* por estacas y, probablemente esta sea una mejor opción que hacerlo por medio de plántulas.

Las semillas utilizadas para la plantación provenían de árboles de la misma zona. Una recomendación muy importante es el uso de germoplasma local, ya que está genéticamente adaptado a las condiciones climáticas de la zona (caluroso, poca precipitación, alta temperatura en las dunas, estrés hídrico).

Incluir a las personas de la comunidad en el establecimiento de la plantación favoreció su concientización de los beneficios que les brinda usar sus recursos naturales y enseñarles a reconocer las características del entorno que hacen posible que las plantas se desarrollen exitosamente. En este sentido, fue necesario comenzar siempre en una duna ya estabilizada con pastos para evitar que el movimiento de arena fuera un factor adicional de estrés y mortalidad de la vegetación. Con el apoyo de estas personas, un taller sobre reforestación y su material técnico se llevó a cabo.

CONCLUSIONES

Existe un interés limitado por parte de los habitantes del área de estudio en sembrar y reforestar la zona, lo que se extiende a la vida cotidiana.

vegetación. De forma conjunta con estos colaboradores se llevó a cabo un taller sobre técnicas de reforestación de dunas y la elaboración del material técnico "Manual de reforestación de médanos" (Moreno-Casasola *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Hay poco interés entre los pobladores de la zona de estudio por sembrar y reforestar la zona, lo que es extensivo a las especies de uso diario por la comunidad. Solo aquellas de alto valor comercial, el cedro rojo, por ejemplo, son las que llaman su atención para formar una plantación.

Leucaena leucocephala germina mejor bajo condiciones de sol o de sombra y riego abundante, aunque el porcentaje de germinación es menor al consignado por otros autores. La sequía baja aún más los valores y en todos los tratamientos el almacenamiento reduce el proceso.

Gliricidia sepium germina con valores altos en sol y sombra, con riego abundante y en condiciones de sol y mayor sequía. Sin embargo la mezcla de sustrato de arena y tierra afecta negativamente su respuesta, y el almacenamiento desacelera su velocidad, pero no su porcentaje.

El guaje presentó un mayor porcentaje de supervivencia en condiciones de sombra (86%) con respecto al tratamiento de sol (50%). En las plantas que mantuvieron su tallo original, se registraron alturas entre 1.5 y 2 m a un año de realizada la plantación. El cocuite registró 14% de supervivencia en sol y de 38% en sombra. La siembra por esqueje, como se realiza comúnmente en la zona, parecer ser una mejor alternativa. 🌱

AGRADECIMIENTOS

Las autoras desean hacer un reconocimiento a los habitantes de La Mancha, Palmas de Abajo y San Isidro, y a Enrique López Barradas, en particular, por su hospitalidad y colaboración para realizar las entrevistas. A las mujeres del Vivero de Palmas de Abajo por ayudarnos en la propagación de las especies utilizadas en la plantación, en el trasplante y las labores de riego; a la comunidad de La Mancha por permitirnos cercar una parcela para la plantación. Al grupo de Ecoturismo La Mancha en Movimiento, en especial a David Díaz por colaborar en el monitoreo y cuidado de la plantación. Un agradecimiento especial a Ana Cecilia Travieso Bello y Krystyna Paradowska por su apoyo en el trabajo de campo. Igualmente, a Roberto Monroy por la elaboración del mapa. A la Comisión Nacional Forestal y a la Comisión de Ciencia y Tecnología por haber financiado el proyecto Núm. 14766 titulado "Germinación, crecimiento y supervivencia de especies nativas de acahuales de selva baja de zonas costeras, importantes en la restauración", así como al Departamento de Ecología Funcional (902-17) del Instituto de Ecología A. C.

REFERENCIAS

Castillo-Campos G. y M. E. Medina A. 2002. Árboles y arbustos de la Reserva Natural de la Mancha, Veracruz. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Ver., México. 144 p.

species. Only those with high commercial value, red cedar for example, are good enough to form a plantation.

Leucaena leucocephala has a better germination under the sun or shadows with abundant watering, even though the germination per cent is lower than that reported by some authors. Drought reduces even more these results and in all the treatments, storage lowers the process.

Gliricidia sepium germinates with high values under the sun and shadow, with abundant watering, and in sun conditions and greater drought. However, the mixture of sand and soil has a negative effect over it, storage decelerates its speed, but not its percentage.

"Guaje" had a higher survival per cent under the shadow treatment (86%), in regard to the sun treatment (50%). In the plants that kept their original stem reached heights from 1.5 to 2 m a year after the plantation. "Cocuite" had 14% of survival under the sun and 38% under shadow. Cutting propagation, which is regularly made in the area, seems to be a better option. 🌱

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the inhabitants of La Mancha, Palmas de Abajo and San Isidro, and to Enrique López Barradas in particular, for their hospitality and cooperation to carry out the interviews. To the women of Vivero de Palmas de Abajo for helping us with the propagation of the species used in the plantation, for the transplant and watering activities; to the La Mancha community for letting us to surround a lot used for the plantation. To the Ecoturismo La Mancha en Movimiento group, and especially to David Díaz, for taking care of the plantation as well as for their help in the monitoring. Ana Cecilia Travieso Bello and Krystyna Paradowska deserve a special mention for their help in the field work. Also, to Roberto Monroy for the map. To the National Forest Commission and to the National Science and Technology Commission for financing the project (No. 14766) "Germinación, crecimiento y supervivencia de especies nativas de acahuales de selva baja de zonas costeras, importantes en la restauración", as well as to the Functional Ecology Department of the Institute of Ecology, A.C.

End of the English version

- Castillo-Campos G., P. Dávila-Aranda. y J. A. Zavala-Hurtado. 2007. La selva baja caducifolia en una corriente de lava volcánica en el centro de Veracruz: lista florística de la flora vascular. Bol. Soc. Bot. Méx. 80:77-104.
- Díaz-Gallegos, J. R., O. Castillo A. y G. García G. 2002. Distribución espacial y estructura arbórea de la selva baja subperennifolia en un ejido de la reserva de la biosfera Calakmul, Campeche, México. Universidad y Ciencia 18(35):11-28.
- Durán E., A. Meave J., J. Lott E. y G. Segura. 2006. Structure and tree diversity patterns at the landscape level in a Mexican tropical deciduous forest. Bol. Soc. Bot. Méx. 79:43-60.
- Flores, O. y P. Gerez 1994. Conservación en México: Síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso del suelo. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos-Conservación Internacional. Xalapa, Ver., México. 302 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3ra Edición. Edit. Larrios. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 252 p.

- García-Gil, G. 2006. El ambiente geomorfológico. In: Moreno-Casasola P. (Comp.) Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver., México. pp. 127-138.
- Geissert, D. 2006. Procesos y cambios. In: Moreno-Casasola P. (Comp.) Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Ver., México. pp. 115-126.
- Houghton, R. A., D. S. Lefkowitz and D. L. Skole. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1859 and 1985. I. Progressive loss of forest. *Forest Ecology and Management* 38:143-172.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III. México. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/pdf/2_info_resumen.pdf (20 de junio del 2011).
- Instituto Nacional de Ecología (INE)-Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) 1993. Informe de la Situación General en Materia del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 1991-1992. México, D.F., México. PÁGINAS
- Janzen, D. H. 1988. Tropical Dry Forest. The most endangered major tropical ecosystem. In: Wilson, E. O. and F. M. Peter. (Eds.) Biodiversity. National Academic Press. Washington, D. C. pp. 130-137.
- López R., M. C. 2007. Germinación, establecimiento y crecimiento de seis especies en matorrales de dunas costeras. Tesis Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 169 p.
- Martínez M., L., Moreno-Casasola, P. y S. Castillo 1993. Biodiversidad Costera: Playas y dunas. In: Salazar-Vallejo, S. I. y E. González N.(Comp.) Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional de Biodiversidad y CIQRO, México, D.F., México. pp. 160-181.
- Maun, M. A. 1994. Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems. *Vegetation* 3: 59-70.
- Mayer, R. F. and J. S. Boye 1981. Osmoregulation, solute distribution and growth in soybean seedlings having low water potentials. *Planta* 151:482-489.
- Moreno-Casasola, P. 1973. Estudios sobre viabilidad y latencia de semillas tropicales. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 78 p.
- Moreno-Casasola P. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: Factores físicos. *Biotica* 7(4):577-602.
- Moreno-Casasola, P., E. Van del Maarel, S. Castillo, L. Huesca M. e I. Pisanty 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: estructura y composición en El Morro de la Mancha, Ver. *Biotica* 7(4):491-526.
- Moreno-Casasola, P. y A. C. Travieso-Bello. 2006. Las playas y las dunas. In Moreno-Casasola, P. (Comp.) Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver., México. pp. 205-220.
- Moreno-Casasola P., Infante D. M., Travieso-Bello A. C., Madero-Vega C. 2010. Manual para la reforestación de los médanos. Instituto de Ecología A.C., CONAFOR - CONACyT. Xalapa, Ver., México. 100 p.
- Moreno-Casasola P. y K. Paradowska. 2010. Especies útiles de la selva baja caducifolia en las dunas del centro de Veracruz. *Madera y Bosques* 15(3):21-44.
- Payne, A. M. and M. A. Maun 1984. Reproduction and survivorship of *Cakile edentula* var. *lacustris* along the Lake Huron shoreline. *American Midland Naturalist Journal* 111: 86-95.
- Pemadasa, M. A. and P. H. Lovell 1975. Factors controlling germination of some dune annuals. *Journal of Ecology* 63:41-59.
- Rincón, E., M. Álvarez, G. González, P. Huante y A. Hernández 1999. Restauración de selvas bajas caducifolias en México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. *Gaceta Ecológica* No. 53: 62-71.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Editorial Limusa. México, D.F., México. 483 p.
- Sarukhán, J. 1998. Los tipos de vegetación arbórea de la zona cálida húmeda de México. In: Pennington, T. D. and J. Sarukhán (Eds.) Árboles Tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica. México, D. F., México. pp. 13-65.
- StatSoft Inc. 2001. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK.
- Stebbins, G. L. 1971. Adaptive radiation of reproductive characteristics in angiosperms II. Seeds and seedlings. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2:237-260.
- Travieso-Bello, A. C. 2000. Biodiversidad del paisaje costero de La Mancha. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Ver., México. 119 p.
- Travieso-Bello, A. C. y A. Campos 2006. Los componentes del paisaje. In: Moreno-Casasola P. (Comp.) Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha. Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Ver., México. pp. 139-150.
- Trejo, T. y R. Dirzo 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 11(11):2063-2084.
- Vazquez-Yanes, C. y J. R. Toledo. 1989. El almacenamiento de semillas en la conservación de especies vegetales. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 49:61-71.
- Yanful, M. and M. A. Maun 1996. Effects of burial of seeds and seedlings from different seed sizes on the emergence and growth of *Strophostyles helvola*. *Can. J. Bot.* 74:1322-1330.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ. USA. 718 p.

MICROPROPAGACIÓN DE *Turbincarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha CACTACEA ORNAMENTAL DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE, EN ESTATUS DE RIESGO

MICROPROPAGATION OF *Turbincarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha, ORNAMENTAL CACTUS OF THE CHIHUAHUA DESERT, AT RISK STATUS

Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez¹, Areli González Cortes², Alberto Arredondo Gómez³, Leobardo Iracheta Donjuan⁴,
Sofía Comparan Sánchez⁵ y Rebeca Casique Valdés⁵

RESUMEN

Se desarrolló un protocolo en cuatro etapas para la micropropagación de *Turbincarpus knuthianus*, una cactácea en estatus de riesgo, para la obtención de plantas de maceta con tamaño comercial uniforme, en cantidades suficientes y con calidad fitosanitaria. El método de propagación propuesto es eficiente comparado con el tradicional; es una nueva tecnología de producción factible de aplicarse en el sistema-producto ornamental, bajo el esquema de laboratorio-invernadero. Las semillas de esta especie son quiescentes y pueden establecerse *in vitro* en el medio MS al 50%, adicionado con 8.65 mM de AG₃ con un porcentaje de germinación de 75%. La inducción de brotes se logró a partir de segmentos de hipocotilo, como explantes, en medio de cultivo MS con diferentes tratamientos. Se determinó que el tipo y concentración de fitohormona influyen en la tasa de multiplicación, y generan hasta 10 brotes por explante; la cinetina (KIN) en interacción 10:1 con AIB en baja concentración es la promotora de este efecto. Durante la aclimatación se observó que la aplicación de 1.5 x 10⁶ UFC ml⁻¹ de *Azospirillum brasilense* tiene un efecto positivo en el proceso rizogénico, de tal manera que se forman hasta 6 raíces por planta con 2.5 cm de longitud. Con esta metodología es posible regenerar especies en estatus de riesgo de importancia ecológica para el Desierto Chihuahuense y se optimizan los procesos biológicos para la producción de plantas de ornato.

Palabras clave: BA-N6-benzyladenina, cactáceas, inoculación de *Azospirillum brasilense*, medio Murashige y Skoog, micropropagación, *Turbincarpus knuthianus*.

ABSTRACT

A four stage protocol was developed for the micropropagation of *Turbincarpus knuthianus*, an ornamental cactus in risk status, in order to produce plants with standard commercial-sized pots in sufficient amount and good phytosanitary quality. The method here described is efficient compared to the traditional method of propagation; it is a new production technology that can be applied to the ornamental product system under the laboratory-greenhouse scheme. The seeds of this species are quiescent and can be established *in vitro* on MS medium at 50% supplemented with 8.65 2M of GA₃, with 75% of germination. The induction of shoots and seedlings was obtained by setting segments of explants on MS medium with different treatments. It was determined that the type and concentration of phytohormone affect the multiplication rate and produce as much as 10 shoots/explant; kinetin (KIN) in interaction with AIB 10:1 in low concentrations favors this effect. During the acclimatization stage, it was observed that the application of 1.5 x10⁶ CFU ml⁻¹ of *Azospirillum brasilense* promoted a positive reaction of the rhizogenic process, as much as 6 roots 2.5 cm long per plant were formed. With this technology, species of ecological importance in risk status can be restored to the Chihuahuan Desert and the biological processes for the production of ornamental plants can be optimized.

Key words: BA-N6-benzyladenine, cacti, inoculation of *Azospirillum brasilense*, Murashige and Skoog medium, micropropagation, *Turbincarpus knuthianus*.

Fecha de recepción: 28 de junio de 2011

Fecha de aceptación: 24 de julio de 2011

¹ Campo Experimental Saltillo. CIRNE-INIFAP. Correo-e: villavicencio.edith@inifap.gob.mx

² Centro de Capacitación de Tecnología de Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

³ Campo Experimental San Luis Potosí. CIRNE-INIFAP.

⁴ Campo Experimental Rosario Izapa. CIRPAS-INIFAP.

⁵ Departamento. Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

INTRODUCCIÓN

Turbincarpus knuthianus (Boed.) John & Riha, comúnmente llamada "biznaguita" o "biznaga cono invertido de Knuth", es una cactácea pequeña de 6 cm de diámetro, con tallo esférico, color verde oscuro con espinas agrupadas en aréolas; presenta flores vistosas muy numerosas de 25 mm de longitud de color carmín rosado brillante. Por su morfología y aspecto es apreciada por coleccionistas expertos y aficionados nacionales y extranjeros, quienes la utilizan como planta de ornato (Hunt *et al.*, 2006).

Sus poblaciones naturales se distribuyen en el estado de San Luis Potosí, que forma parte del Desierto Chihuahuense, donde presentan un alto grado de deterioro. Son plantas consideradas endémicas, de lento crecimiento y escasas en su hábitat natural, sujetas a protección especial (Pr), ya que están amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad; por lo tanto, es necesario propiciar su recuperación y conservación (SEMARNAT, 2010).

Dado que la flora del país es parte del patrimonio nacional y que es prioritaria su regeneración, sobre todo de aquellas especies con estatus de riesgo, la micropropagación constituye una forma de conservación *ex situ*, a partir del grado de deterioro que tienen sus poblaciones naturales y el interés que existe por algunos taxa como plantas de ornato, en países europeos y asiáticos.

Los métodos de conservación *ex situ* se basan en el mantenimiento del material biológico en bancos de semillas, bancos de cultivo *in vitro* y en colecciones de plantas (en campo, viveros o jardines botánicos). Los dos primeros son de los sistemas más convenientes para el germoplasma, porque permiten almacenar una gran variabilidad genética en forma económica y práctica; sin embargo, en especies como *T. knuthianus*, cuyas poblaciones no son de alta densidad y tienen una reducida producción de semillas y de brotes laterales, además de un bajo porcentaje de germinación, es necesario implementar opciones de conservación *ex situ* como el cultivo de tejidos vegetales (CTV), con el propósito de multiplicarlo, puesto que cuenta con pocos individuos y tiene dificultades para propagarse por métodos convencionales (Villavicencio *et al.*, 2005).

El CTV *in vitro* o micropropagación se basa en el concepto de totipotencialidad de las células vegetales, es decir, a partir de diferentes explantes es posible desarrollar plantas normales y completas (Moebius-Goldammer *et al.*, 2003). Al respecto, Johnson y Emino (1979a), Hubstenberger *et al.* (1992) y Giusti *et al.* (2002) propusieron la propagación clonal a través de la micropropagación, como una vía factible para las cactáceas, con la cual es posible contribuir al rescate y conservación de este recurso fitogenético. Este es un sistema en el que se utilizan como explantes tejidos u órganos que se toman de una o más plantas donadoras, las cuales tienen meristemas preexistentes y a partir de estos se pueden generar uno o más brotes (Murashige, 1974; Villalobos y Thorpe, 1985; Pierik, 1987).

INTRODUCTION

Turbincarpus knuthianus (Boed.) John & Riha, known as "biznaguita" or "biznaga cono invertido de Knuth" (Knuth's inverted cone biznaga), is a small cactus of 6 cm diameter, with a dark green spherical stem, with spines grouped in areolas; it has numerous bright 25 mm long of carmine-rose flowers. From its morphology and look it is very appreciated by expert collectors as well as by national and foreign amateurs, who use it as an ornamental plant (Hunt, *et al.* 2006).

Natural populations of the species are distributed in San Luis Potosi State, which is a part of the Chihuahuan Desert, where they suffer great deterioration. They are considered endemic plants of slow growth and scarce in their habitat, are subject to special protection (Pr), since they are threatened by several factors that negatively influence their viability; thus, it is necessary to favor their restoration and conservation (SEMARNAT, 2010).

As flora is part of the national wealth and its regeneration, a priority, particularly of those species at risk status, micropropagation is a way of *ex situ* conservation, starting from the deterioration that their natural populations have and the prevailing interest for some taxa as ornamental plants in countries of Europe and Asia.

Ex situ conservation methods are based on the preservation of biological material in seed banks, *in vitro* cultivation banks and in plant collections (in the field, nurseries or botanical gardens). The first two are more convenient systems for germ plasm, since they allow the storage of a great genetic variability in an economic and practical way; however, in species like *T. knuthianus*, that have a scarce density, low seed and lateral shoot production and reduced germination per cent, it is necessary to implement *ex situ* conservation options such as plant tissue cultures (PTC), in order to multiply it, as it has few individuals and difficulties for propagation by conventional methods (Villavicencio, *et al.*, 2005).

In vitro PTC or micropropagation is based on the total potentiality concept of vegetal cells, which establishes that it is possible to develop normal and complete plants from explants (Moebius-Goldammer *et al.*, 2003). In this respect, Johnson and Emino (1979a), Hubstenberger *et al.* (1992) and Giusti *et al.* (2002) proposed clonal propagation through micropropagation, as a feasible way for Cactaceae, with which it might be possible to contribute to the rescue and conservation of this phylogenetic resource. This is a system in which tissues or organs are used as explants and are taken from one or more donating plants, which have pre-existing meristems and, from them on, shoots can be produced (Murashige, 1974; Villalobos and Thorpe, 1985; Pierik, 1987).

En cactáceas los brotes se obtienen de yemas axilares que se desarrollan *in vitro*; estas estructuras están contenidas en areolas o mamilas y su procedencia pueden ser segmentos de plantas de vivero (Vyskot y Jara, 1984; Escobar, 1985; Yassen-Mohamed *et al.*, 1995), campo (Clayton *et al.*, 1990) y de plántulas germinadas *in vitro* (Fay y Gratton, 1992).

Algunos autores señalan que en el cultivo de yemas axilares aún existen varias incógnitas por resolver; sin embargo, este método de clonación resulta eficiente en especies útiles como es el caso de *T. knuthianus* (Rodríguez-Garay y Rubluo, 1992; Hubstenberger *et al.*, 1992).

Dada la importancia ecológica y económica que tiene este recurso fitogenético para las zonas semiáridas del desierto Chihuahuense y para el sector ornamental se desarrolló un protocolo para su micropropagación, en el que también se consideró el efecto que produce el inoculante de *Azospirillum brasilense*, por ser una bacteria que incide en el proceso rizogénico, como se ha comprobado en *Triticum aestivum* L., *Zea mays* L. y en plantas propagadas *in vitro* como; jojoba, caña de azúcar, papa y mandioca (Carletti *et al.*, 2003; Díaz-Zorita *et al.*, 2004; Okon, 1985).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se utilizaron semillas de una colecta masal de poblaciones naturales ubicadas en los municipios de Guadalcázar, Cerritos y Villa Hidalgo en el estado de San Luis Potosí. En cada localidad se hizo una caracterización del medio físico, que incluyó: la altitud, precipitación, temperatura, textura del suelo, pendiente, orientación de la pendiente y vegetación asociada (Figura 1, Cuadro 1).

In Cactaceae, the shoots are taken from axillary buds that develop *in vitro*; these structures are contained in areolas and mamilas and their origin might be segments of nursery plants (Vyskot and Jara, 1984; Escobar, 1985; Yassen-Mohamed *et al.*, 1995), field specimens (Clayton *et al.*, 1990) or seedlings germinated *in vitro* (Fay and Gratton, 1992).

Some authors point out that in axillary bud cultivation there are still several questions to be solved; however, this clonation method proved to be efficient for useful species such as *T. knuthianus* (Rodríguez-Garay and Rubluo, 1992; Hubstenberger *et al.*, 1992).

Since this phylogenetic resource is important from an ecological and economic stand point for the semiarid zones of the Chihuahuan Desert and for ornamental endings, a protocol for its micropropagation was developed, in which it was considered the effect of *Azospirillum brasilense* as inoculant since it is a bacterium that affects the rhizogenic process, as has been probed by *Triticum aestivum* L. and *Zea mays* L. and in plants propagated *in vitro* such as jojoba, sugar cane, potatoes and tapioca (Carletti *et al.*, 2003; Díaz-Zorita *et al.*, 2004; Okon, 1985).

MATERIALS Y METHODS

Genetic Material

The seeds that were used came from a massal collection taken at locations of natural populations, at Guadalcázar, Cerritos and Villa Hidalgo in San Luis Potosí State. In each location the environment was described through the following data: altitude, precipitation, temperature, soil texture, slope, hillside and associated vegetation (Figure 1, Table 1).

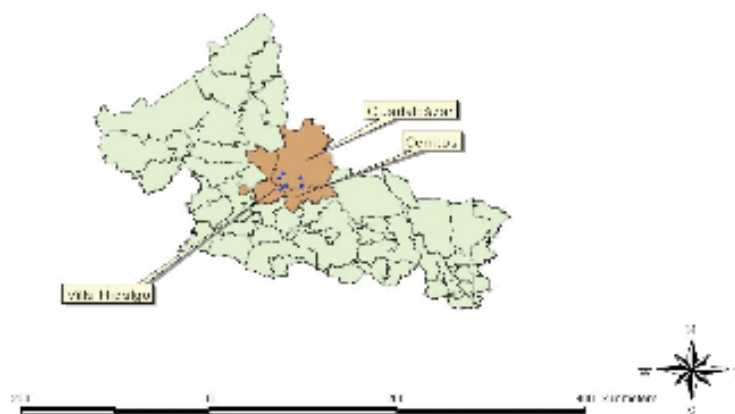


Figura 1. Distribución de *Turbinicarpus knuthianus* en San Luis Potosí, México.

Figure 1. Distribution of *Turbinicarpus knuthianus* in San Luis Potosí State, Mexico.

Cuadro 1. Principales características ecológicas de las poblaciones de *Turbinicarpus knuthianus* en San Luis Potosí, México.
 Table 1. Main ecological characteristics of *Turbinicarpus knuthianus* populations in San Luis Potosí, Mexico.

Clima	Precipitación (mm)	Temperatura	Unidad de suelo	Textura	Altitud (m)
BSohw	Lluvias de verano 300 a 400	Árido, semicálido	Xerosol háptico	Media	1,500 a 2,000
		Temperatura de 18°C y 22°C, Temperatura del mes más frío < 18°C,	Xerosol gypsic		1,000 a 1,500
		Temperatura del mes más caliente > 22°C. Temperatura máxima 34 a 36°C			

Etapa 1. Establecimiento de semillas en un cultivo aséptico

Se evaluó la germinación *in vitro* de *T. knuthianus* mediante un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2, en el cual se consideró como factor A: dos tipos de medio (MBG1= 0.6% agar + 87.64 mM de C₁₂H₂₂O₁₁ y MBG2= MS (Murashige y Skoog, 1962) al 50%. El factor B consistió en dos tratamientos: sin C1= 0.0 mM de AG₃ y con aplicación de ácido giberélico, C2= 8.65 mM de AG₃ adicionado al medio de cultivo como promotor de la germinación. Se usaron semillas de una colecta masal, desinfectadas de acuerdo al protocolo de Villavicencio *et al.* (2009), con 60 días de colecta, para 30 semillas y tres repeticiones por tratamiento. Las evaluaciones se realizaron cada siete días, durante un período de nueve semanas, las variables consideradas fueron la velocidad (VG) y el porcentaje de germinación (PG).

Etapa 2. Multiplicación o inducción de brotes

Mediante un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2X6 se establecieron segmentos de hipocotilo, obtenido de las plántulas germinadas *in vitro*, en un medio para la inducción de brotes (MIB), el cual se adicionó con una relación citocinina-auxina 10:1. El factor A correspondió a los dos tipos de fitohormona (F); cinetina 6-furfuryl aminopurina (Kin) y 6-bencil aminopurina (BA). Como factor B se evaluaron seis concentraciones (C) de estas citocininas (T1=0.46, T2=0.69, T3=1.16, T4=2.32, T5=3.48 y T6=4.64 mM de Kin) y (T1=0.44, T2=0.66, T3=1.10, T4=2.21, T5=3.30 y T6=4.40 mM de BA), combinadas con su proporción correspondiente de auxina (T1=0.41, T2= 0.61, T3=1.03, T4=2.07, T5=3.1 y T6=4.13 x 10⁻¹ μM de AIB), así mismo se incluyó un tratamiento sin fitohormonas. Como unidad experimental se establecieron tres explantes por frasco con 10 repeticiones por tratamiento. A las ocho semanas se registró el número de brotes (NB) y la altura (A) de los mismos, en mm.

Stage 1. Seed establishment in an aseptic culture

In vitro *T. knuthianus* germination was assessed through a completely randomized experimental design with a 2x2 factorial arrangement, in which the following elements were considered as A Factor: (MBG1= 0.6% agar + 87.64 C₁₂H₂₂O₁₁ mM and MBG2= MS (Murashige and Skoog, 1962). Factor B consisted in two treatments: without C1= 0.0 mM de AG₃ and with application of gibberellic acid, C2= 8.65 mM de AG₃ which was added to the culture media as a stimulant for germination. The seeds that were used came from a masal collection, were disinfected according to the protocol of Villavicencio *et al.* (2009), with 60 collection days, 30 seeds and three replications per treatment. Assessments were made every seven days, during a nine week period, the variables were speed (GS) and germination percent (GP).

Stage 2. Shoot multiplication or induction

Through a completely randomized experimental design with a 2x6 factorial arrangement hypocotyls, which came from the *in vitro* germinated seedlings segments, were established in a shoot induction medium (SIM) to which a qitocinine-auxine 10:1 relation was added. Factor A matched the two phytohormone (F) types; kinetine, 6-furfuryl aminopurine (Kin) and 6-Benzyl aminopurine (BA). As factor B six concentrations of these qitocinines (C) were assessed (T1=0.46, T2=0.69, T3=1.16, T4=2.32, T5=3.48 y T6=4.64 mM de Kin) and (T1=0.44, T2=0.66, T3=1.10, T4=2.21, T5=3.30 y T6=4.40 mM de BA), combined with their corresponding auxine proportion (T1=0.41, T2= 0.61, T3=1.03, T4=2.07, T5=3.1 y T6=4.13 x 10⁻¹ μM de AIB); also, a phytohormone treatment was included. As experimental unit three explants per bottle with 10 replications by treatment were established. After 8 weeks, the number of shoots (SN) and their height (mm) were recorded.

Condiciones de incubación.- En el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Campo Experimental Saltillo del CIRNE-INIFAP se hicieron las dos primeras etapas anteriores. Las semillas se colocaron en tubos Erlenmeyer, con un volumen de 5 mL de medio de cultivo. Las plántulas se subcultivaron en frascos Gerber[®] de 70 mL de capacidad, con un volumen de 20 mL de medio de cultivo. Los subcultivos en la etapa de multiplicación se llevaron a cabo en envases de polipropileno de 500 mL con un volumen de 50 mL de medio de cultivo, que se incubaron a una temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$ y con un fotoperíodo de 16 h luz^{-1} .

Etapa 3. Enraizamiento y aclimatación

En el invernadero del Campo Experimental Saltillo del CIRNE-INIFAP se establecieron vitro-plantas del 10 mm de altura, mediante un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4×2 , con tres repeticiones por tratamiento. El factor A consistió en los cuatro tipos de sustratos (S): S1=arena; S2= "peat moss"; S3= negra y S4= mezcla homogénea de las tres anteriores y el factor B en la inoculación de la cepa de *Azospirillum brasilense* en dos concentraciones: CONCI= 1.5×10^6 y CONC 2= 3×10^7 UFC/ mL⁻¹. Además se contó con un testigo por tipo de sustrato, sin aplicación de la cepa. Las aplicaciones del concentrado de la cepa se realizaron cada siete días, con evaluaciones a los 30 días; las variables consideradas fueron: incremento en altura del tallo (IAT), longitud de raíces (LR) y número de raíces (NR).

La información de las etapas se analizó con el procedimiento GLM del sistema de Análisis Estadístico SAS (2002), mediante la prueba de comparación de medias, con una probabilidad del 95% para la selección de los tratamientos significativos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Etapa 1. Establecimiento de semillas en un cultivo aséptico

Porcentaje de germinación (PG). Se obtuvieron diferencias significativas de la interacción MBGxC, con un efecto positivo en proporciones diferentes, al adicionar el promotor de la germinación, el tratamiento MBG2= MS (Murashige y Skoog, 1962) al 50% + 8.65 mM de AG_3 del que resultó un PG=75%, mismo que duplicó la emergencia de las vitro-plántulas, con respecto al medio MBG1= 0.6% agar + 87.64 mM $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ + 8.65 mM de AG_3 . Esto muestra que en condiciones *in vitro* *T. knuthianus* requiere de la adicción de nutrimentos y fitohormonas para promover la imbibición, absorción de oxígeno, activación de enzimas, el transporte de moléculas hidrolizadas hasta el ápice meristemático y con ello activar el proceso de respiración, división celular y alargamiento para el crecimiento de la vitro-plántula.

Incubation conditions.- At the Vegetation Tissue Culture Laboratory of Saltillo Experimental Station of CIRNE-INIFAP the two previous stages were made. The seeds were placed in Erlenmeyer tubes, with 5 mL of culture medium. Seedlings were under cultivated in 70 mL Gerber[®] bottles, with 20 mL of culture medium. The under cultivations in the multiplication stage were carried out in 500 mL polypropylene containers with 50 mL of culture medium, which were incubated at $26 \pm 1^\circ\text{C}$ and a 16 h^{-1} light photoperiod.

Stage 3. Rooting and acclimatization

In the greenhouse of Saltillo Experimental Station of CIRNE-INIFAP were established vitro-plants of 10 mm high, through a completely randomized experimental design with a 4×2 factorial arrangement, with three replications per treatment. Factor A consisted of four kinds of substrates (S): S1=sand; S2= "peat moss"; S3= black and S4= homogeneous mixture of the three mentioned before, and factor B in the inoculation of *Azospirillum brasilense* in two concentrations: CONCI= 1.5×10^6 and CONC 2= 3×10^7 UFC/ mL⁻¹. Also, a control was considered for each kind of substrate, without addition of the fungus. The additions of the fungus concentration were made every 7 days, assessing every 30 days; the variables were: stem height increment (SHI), root length (RL) and number of roots (NR).

The information of the stages was analyzed by means of the GLM procedure of the Statistics Analysis SAS (2002), by the mean comparison test, with a 95% probability for the significant treatment selection.

RESULTS AND DISCUSSION

Stage 1. Seed establishment in an aseptic culture

Germination per cent (GP). Significant differences were obtained from the MBGxC, interaction with a positive effect in different proportions, when the germination stimulant was added, the al 50% MBG2= MS treatment (Murashige and Skoog, 1962) + 8.65 mM of AG_3 which resulted in 75% of GP, which doubled the emergence of the vitro-plants, in regard to the MBG1 medium = 0.6% agar + 87.64 mM $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ + 8.65 mM de AG_3 . This shows that in *in vitro*, *T. knuthianus* demands nutriment and phytohormone addition to promote imbibition, oxygen absorption, enzymatic activation, hydrolyzed molecule transport up to meristematic apex and thus, to stimulate the respiration process, cell division and elongation for the growth of the vitro-plant.

With the osmotic potential present in the MBG4 medium = 0.6% agar+87.64 mM of $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ was determined a 10% of PG, which shows that the seed is viable, quiescent and its structure favors imbibition, tissue hydration and digestion,

Con el potencial osmótico presente en el medio MBG4= 0.6% agar+87.64 mM de $C_{12}H_{22}O_{11}$ se determinó un PG del 10%, lo que muestra que la semilla es viable, quiescente y que su estructura permite la imbibición, hidratación de los tejidos y la digestión pero no así la translocación y división celular para la emergencia de la vitro-plántula.

De acuerdo con Maiti *et al.* (1994) especies con semillas de este tipo tienen una testa delgada y sólo requieren de condiciones ambientales favorables para que su germinación, ya que existe una fuerte relación entre la ultraestructura de la semilla y el proceso germinativo, en el cual influye el medio de cultivo que se utilice como lo refieren Dutra *et al.*, 2008; Kauth *et al.*, 2006 y Malda *et al.*, 1999.

La modificación al medio de cultivo *in vitro* se ha realizado en otras cactáceas (*Mammillaria elongata* DC., *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran y *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton *et Rose* para favorecer el metabolismo celular de la semilla, activar el crecimiento del embrión y el proceso enzimático de los tegumentos, para que la cubierta de la semilla se rompa y emerja una nueva vitro-plántula (Papafotiou *et al.*, 2001; Pelah *et al.*, 2002) (Figura 2).

but not translocation, and cell division for the emergence of the vitro-plant.

According to Maiti *et al.* (1994) species with seeds of this kind have a thin test and only demand favorable environmental conditions for their germination, since there is a strong relation between the ultrastructure of the seed and the germination process, in which the culture medium has an influence that is used as Dutra *et al.*, 2008; Kauth *et al.*, 2006 and Malda *et al.*, 1999 refer.

The modification of the medium of the *in vitro* culture has been accomplished with other cacti (*Mammillaria elongata* DC., *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran and *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton *et Rose* to stimulate seed cell metabolism, to activate the growth of the embryo and the enzymatic process of teguments, so that the seed cover brakes and emerges a new vitro-plant (Papafotiou *et al.*, 2001; Pelah *et al.*, 2002) (Figure 2).

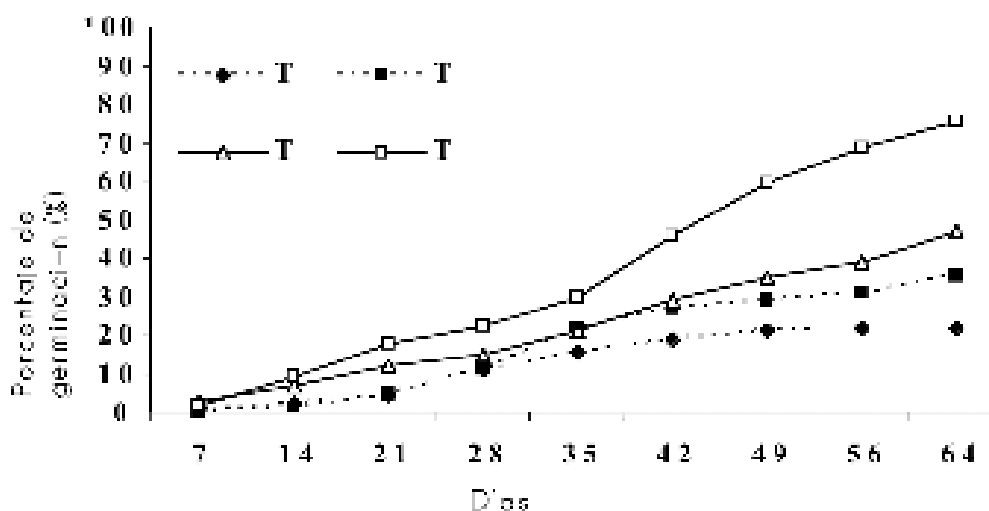


Figura 2. Establecimiento de semillas y aspecto de las plántulas de *Turbinicarpus knuthianus* después de 9 semanas de incubación.

Figure 2. *Turbinicarpus knuthianus* seed establishment and seedling looks after 9 weeks of incubation.

Velocidad de Germinación (VG).- Durante los primeros 14 días de incubación no existieron diferencias significativas en el porcentaje de germinación registrado en los diferentes medios de cultivo (MBG). A partir de los 21 días el valor más alto se registró con el MBG T4, esta tendencia se mantuvo hasta el final del experimento. Se determinó que la velocidad de emergencia de *T. knuthianus* estuvo mediada por el medio de cultivo y por el ácido giberélico (AG_3), por lo que requiere de un promotor para la germinación, ya que los niveles endógenos de esta fitohormona no fueron suficientes para activar los procesos enzimáticos, como se mostró con los tratamientos sin fitohormona (T1 y T2) (Figura 3). El mismo comportamiento también se ha observado en *Astrophytum capricorne* (A. Dietr.) Britton et Rose, otra cactácea del Desierto Chihuahuense, y en *Salvia splendens* Sellow ex Roem. et Shult.) para ésta última se ha estimado un PG=87%, con 100 y 150 mg MI^{-1} de AG_3 y un PG=13%, cuando no se adicionó el promotor al medio (De la Rosa-Ibarra y García, 1994; De la Vega y Alizaga, 1987). Para *Melocastus caesius* H. L. Wendl., *Stenocereus stellatus* (Pfeiff.) Britton et Rose y otras especies de *Mammillaria* se ha observado que las giberelinas no promueven la germinación, si el proceso se realiza en la oscuridad (Araya et al., 2000; Rojas, 2008).

Germination Speed (GS).-During the first 14 days of incubation there were no significant differences in the germination per cent in the different culture media (MBG). From the 21 days, the highest value came from MBG T4, this tendency stayed as such till the end of the experiment. It was determined that the emergence speed of *T. knuthianus* was affected by the culture medium and the gibberellic acid (AG_3), which demands a germination stimulant, since the endogenous levels of this phytohormone were not enough to activate the enzymatic processes, as was shown by the treatments without phytohormone (T1 y T2) (Figure 3). The same behavior has been observed in *Astrophytum capricorne* (A. Dietr.) Britton et Rose, another cactus from the Chihuahuan Desert, and in *Salvia splendens* Sellow ex Roem. et Shult.; for the latter a GP of 87% has been estimated, with 100 y 150 mg MI^{-1} of AG_3 and a GP of 13% when the stimulant was not added to the medium (De la Rosa-Ibarra and García, 1994; De la Vega and Alizaga, 1987). In *Melocastus caesius* H. L. Wendl., *Stenocereus stellatus* (Pfeiff.) Britton et Rose and other *Mammillaria* species it was observed that gibberellins do not promote germination if the process is made in the dark (Araya et al., 2000; Rojas, 2008).



(T1= 0.6% agar y 87.64 m M de $C_{12}H_{22}O_{11}$; T2= MS 50%; T3= 0.6% agar + 87.64 mM de $C_{12}H_{22}O_{11}$ + 8.65 mM de AG_3 ; T4= MS 50%+8.65 mM de AG_3).

(T1= 0.6% agar and 87.64 m M de $C_{12}H_{22}O_{11}$; T2= MS 50%; T3= 0.6% agar + 87.64 mM de $C_{12}H_{22}O_{11}$ + 8.65 mM de AG_3 ; T4= MS 50%+8.65 mM de AG_3).

Figura 3. Velocidad de germinación de *Turbincarpus knuthianus* en diferentes medios de cultivo MBG
Figure 3. Germination speed of *Turbincarpus knuthianus* in different culture media.

Etapa 2. Multiplicación o inducción de brotes

Existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre el tipo de fitohormonas (F) utilizadas para la inducción de brotes; con la cinetina (Kin) se obtuvo la mejor respuesta, con un NB promedio de 6.0 brotes por explante con una altura (A) de 6.0 mm, a diferencia de los explantes establecidos en BA, los cuales registraron 30% menor cantidad de brotes con una altura de 5 mm en promedio (cuadros 2 y 3).

Stage 2. Shoot multiplication or induction

There are significant differences ($P \leq 0.05$) among the type of phytohormones (F) used for the shoot induction; with kinetine (Kin) the best response was obtained, with an average NB of 6.0 shoots per explant of 6.0 mm high (A) which is different compared to those established in BA, which registered 30% less number of shoots with an average height of 5 mm (Tables 2 and 3).

Cuadro 2. Significancia de las variables Número (NB) y Altura (AB) de brotes de *Turbinarpus knuthianus* en la etapa de multiplicación en laboratorio.

Table 2. Significance of the Number (NB) and Height (AB) of *Turbinarpus knuthianus* in the multiplication stage in the laboratory.

F.V.	g.l.	Número de Brotes	Altura de Brotes
Fitohormona (F)	1	*	**
Concentracion (C)	5	**	**
FxC	4	**	NS
FxCxR	25	**	
Error		5173	4863
r ²		0.53	0.29
CV		23.61	21.12
media		4.43	5.40

F.V. = fuente de variación; g.l.= grados de libertad; NS= No significativo; * = significativo ($\alpha \leq 0.05$), ** = altamente significativo ($\alpha \leq 0.01$); R= Repetición.
 F.V. = source of variation; g.l.= degrees of freedom; NS= Non significant; * = significant ($\alpha \leq 0.05$), ** = highly significant ($\alpha \leq 0.01$); R= Replication.

Cuadro 3. Influencia de las fitohormonas en el Número (NB) y Altura (AB) de brotes de *Turbinarpus knuthianus* en laboratorio.

Table 3. Influence of phytohormones on the Number (NB) and Height (AB) of shoots of *Turbinarpus knuthianus* in the laboratory.

Fitohormona	Número de Brotes	Altura (mm)
Kin	5.87 a	5.91 b
BA	3.87 b	5.18 b
Sin Fitohormona	2.33 c	8.22 a
CME	3.74	4.93
DMS	1.23	1.42
r ²	0.71	0.65
CV	23.61	21.12
Media	4.43	5.40

Kin = Cinetina; BA = Bencilaminopurina
 CME= Cuadrado medio del error; DMS= Diferencia minima significativa; CV= Coeficiente de variación.
 Valores con la misma letra dentro de columnas no difieren significativamente (Tukey $P \leq 0.05$).
 Kin = Kinetine; BA = Bencilaminopurine
 MSE= Mean Square Error; MSD= Minimum Significant Difference; CV= Coefficient of variation
 Values with the same letter in the columns have not significant differences (Tukey $P \leq 0.05$).

Al comparar este efecto con el tratamiento sin fitohormonas se comprobó que de forma endógena *T. knuthianus* es capaz de producir brotes; sin embargo, su regeneración es baja (2.33 brotes por explante) (Cuadro 3).

Después de analizar los tratamientos como efectos independientes con la prueba de medias ($P \leq 0.05$), se determinó que el tratamiento T12 tiene un efecto positivo en la inducción de brotes, hasta 10 brotes por explante en el medio MIB adicionado con 4.40 mM de BA + 4.13 x μM de AIB. Lo anterior contrasta con el tratamiento T2, en el cual se obtuvieron 9 brotes por explante en un MIB con una baja concentración de Kin 0.46 mM de Kin + 0.61 μM de AIB. Los resultados muestran que la concentración de citosina-auxina en una relación 10:1 es positiva para la inducción de brotes; aunque su efecto depende del tipo de fitohormona que se utilice. A diferencia de lo sucedido con el tratamiento sin fitohormona, en el que se tuvo el menor número de brotes.

La interacción citosina-auxina ha sido efectiva en la organogénesis directa de 21 especies de cactáceas mexicanas, como lo refieren Pérez *et al.* (1998) y Mata *et al.* (2001), entre ellas las del género *Turbinicarpus*, cuando se utilizaron de 8.8-13.31 mM de BA y 0-2.6 μM de ANA en medio de cultivo MS (Murashige y Skoog, 1962).

Altura de brotes (A). Se registraron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin fitohormona, éste último presentó la mayor altura de brotes (8.22 mm), a diferencia de los tratamientos con fitohormonas, mismos que registraron un valor estadísticamente igual a 6 mm, cuando se utilizó cinetina (KIN) (Cuadro 4, Figura 4).

Al analizar el efecto del tipo de fitohormona se observó que la altura de los brotes se reduce al aumentar su número de explantes, como sucedió en los tratamientos T2 y T12, con 4 y 3 mm, respectivamente (Cuadro 4).

Un efecto opuesto se obtuvo cuando se utilizó BA, en los que el número y altura de los brotes se incrementa conforme se aumenta la concentración de la citocinina, de tal manera que con la concentración entre 0.66 a 3.3 mM de BA el número máximo de brotes por explante fue de cuatro con una altura superior a 5 mm; sin embargo, con la concentración más alta (4.40 mM de BA), la tasa de multiplicación es más del doble, pero los brotes son de menor tamaño (3 mm en promedio) (Cuadro 4). Algo similar se presentó en *Mammillaria sanangelensis* Sánchez-Mej., cuando se utilizó una concentración alta de fitohormona (4.4 mM de BAP + 0.53 μM de ANA), la cual indujo la generación de 21 brotes por explante, con una altura menor a 3 mm (Martínez-Vázquez y Rublío, 1989).

When this effect was compared to the treatment without phytohormones, it was proved that in an endogeneous form, *T. kurbnicarpus* can produce shoots; however, its regeneration is low (2.33 shoots per explants) (Table 3).

After analyzing the treatments as independent effects by the mean test ($P \leq 0.05$), it was determined that the T12 treatment has a positive incidence in shoot induction, up to 10 shoots per explant in a MIB medium added with 4.40 mM of BA + 4.13 x μM of AIB. The former contrasts with the T2 treatment in which 9 shoots per explant were obtained in a MIB with low concentration of Kin 0.46 mM of Kin + 0.61 μM of AIB. Results show that the 10:1 kitesine-auxine relation is positive for shoot induction, even if its reaction depends on the type of phytohormone that is used, which is different from what happened with the treatment without phytohormone, in which the least number of shoots was produced.

The kitesine-auxine interaction has been effective in direct organogenesis of 21 species of Mexican cacti as Pérez *et al.* (1998) and Mata *et al.* (2001) refer, among them those of *Turbinicarpus* genus, when 8.8-13.31 mM of BA and 0-2.6 μM of ANA in MS (Murashige and Skoog, 1962) culture medium were used.

Shoot height (A). Significant differences were found among treatments with and without phytohormones, the latter having recorded a greater shoot height (8.22 mm), in contrast to the treatments with phytohormones, which recorded a value statistically equal to 6 mm, when kinetine (KIN) was used (Table 4, Figure 4).

When analyzing the effect of the phytohormone type it was observed that the height of the shoots is reduced when the number of explants increases, as it happened with T2 and T12 treatments, which produced 4 and 3 mm (Table 4).

The opposite effect was obtained when BA was used: the number and height of the shoots increases as the kitocinine concentration does, in such a way that with the 0.66 to 3.3 mM of BA concentration the maximum number of shoots per explant was 4 with a height over 5 mm; however, with the highest concentration (4.40 mM of BA), the multiplication rate becomes more than twice, but shoots are smaller in size (3mm average) (Table 4). Something similar happened with *Mammillaria sanangelensis* Sánchez-Mej. when a high concentration of phytohormone (4.4 mM of BAP + 0.53 μM of ANA) was used, which induced the generation of 21 shoots per explant, with a height lower than 3 mm (Martínez-Vázquez and Rublío, 1989).

Cuadro 4. Tasa de multiplicación de *Turbinicarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha.
 Table 4. Multiplication rate of *Turbinicarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha.

TRATAMIENTOS	Concentración (µM)			NB	A
	mM		(µM)		
	KIN	BA	AIB		
0	0	0	0	2.33 h	8.22 a
1	0.46		0.041	6.77 c	5.70 ab
2	0.69		0.061	8.66 b	4.64 b
3	1.16		0.103	6.24 cd	4.74 b
4	2.32		0.207	5.77 cde	6.54 ab
5	3.48		0.310	5.04 def	6.97 ab
6	4.64		0.413	5.37 cdef	6.49 ab
7		0.44	0.041	3.86 hg	6.82 ab
8		0.66	0.061	3.36 hg	4.55 b
9		1.10	0.103	3.4 hg	4.92 b
10		2.21	0.207	4.29 fge	5.34 ab
11		3.30	0.310	3.9 fg	6.09 ab
12		4.40	0.413	10.87 a	3.35 c
			DMS	1.23	1.10
			r ²	0.53	0.29
			CV	23.61	21.12
			media	4.43	5.40

Valores con la misma letra dentro de columnas no difieren significativamente (Tukey $P \leq 0.05$).

NB= Número de brotes; A=Altura

Values with the same letter in the columns have not significant differences (Tukey $P \leq 0.05$).

NB= Number of shoots; A=Height

Con base en los resultados aquí documentados se puede decir que el control hormonal influye en la diferenciación del explante como lo refieren Mauseth (1976, 1979), y se demuestra que la regeneración de brotes *in vitro* de *T. knuthianus* es posible inducirla a partir de yemas axilares; así mismo, la eficiencia del método de propagación se expresa en el número de brotes por explante (Vyskot y Jara, 1984; Martínez-Vázquez y Rubluo, 1989; Clayton *et al.*, 1990 y Dabekaussen *et al.*, 1991).

También se determinó que la micropropagación de *T. knuthianus* ocurre si al medio de cultivo (MIB) se le agregan fitohormonas, ya que sus yemas axilares presentan letargo, con meristemas axilares quiescentes con potencial mitótico activo en cada una de sus zonas (a) célula madre central; b) zona periférica y c) meristemo), en donde es posible desarrollar primordios fotosintéticamente normales, llamados brotes, tal como lo describió Mauseth (1976, 1978, 1979), quien fue el primero en evaluar este efecto en cactáceas.

Based upon the results here supported, it can be stated that hormonal control influences the explant differentiation, as Mauseth (1976, 1979) refer and it is proved that *T. knuthianus* shoot regeneration *in vitro* can be induced from auxiliary buds; also, the efficiency of the propagation method is expressed in the number of shoots per explant (Vyskot and Jara, 1984; Martínez-Vázquez and Rubluo, 1989; Clayton *et al.*, 1990; Dabekaussen *et al.*, 1991).

It was also determined that the micropropagation of *T. knuthianus* occurs if phytohormones are added to the culture medium (MIB), since their axillary buds show lethargy with quiescent axillary meristems that have active mitotic potential in each of their zones a) central mother cells, b) peripheric zone and c) meristem), in which it is possible to develop photosynthetically normal primordial structures known as shoots, as Mauseth (1976, 1978, 1979) described, being the first one to assess this effect on cacti.



Figura 4. Brotes de *Turbinicarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha obtenidos en la etapa de multiplicación.
Figure 4. *Turbinicarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha shoots produced in the multiplication stage.

La tasa de multiplicación de *T. knuthianus* es exponencial y varía dependiendo de la fitohormona que se utilice, siempre que se mantenga una relación 1:8:8:8; del medio de cultivo (MIB) adicionado con 0.69 mM de Kin + 0.61 μ M de AIB. Los valores para esta variable fueron superiores al citado por Dávila *et al.* (2005) y Clayton *et al.* (1990) en *Escobaria missouriensis* (Sweet) D.R. Hunt, *Pediocactus paradinei* B. W. Benson y *Toumeyia papyracantha* (Engelm) Britton *et Rose*, cuya tasa de multiplicación máxima fue de 6.0 brotes por explante.

En el caso de la cactácea estudiada la máxima tasa de multiplicación en relación de 1:10:10:10 se obtiene *in vitro* en un medio de cultivo MIB con 4.4 mM de BA+ 0.413 μ M (relación 1:10:10:10). Esta cifra es semejante a la que se ha registrado en especies de los géneros: *Coryphantha*, *Echinocereus* y *Mammillaria* (Clayton *et al.*, 1990) y en *Astrophytum myriostigma* Lem. (Villavicencio *et al.*, 2006; 2009), pero que supera a la consignada en otras especies de cactáceas mexicanas como *Mammillaria voburnensis* Scheer y *Mammillaria elongata* DC. (Ordóñez, 2003; Papafotiou *et al.*, 2001).

Etapa 3 enraizamiento y aclimatación

En invernaderos donde se producen plantas ornamentales se utiliza una gran variedad de materiales de tipo orgánico e inorgánico, como sustratos solos o mezclados que proveen un medio para el crecimiento de la planta como: tezontle fino, "tepojal" (roca volcánica extrusiva de textura vesicular, burbujeada y porosa que guarda el calor), polvillo de coco, perlita, arena, tierra de hoja molida, "peat moss", vermiculita, bagazo de caña de azúcar molido, cascarilla de arroz y aserrín entre otros.

The multiplication rate of *T. knuthianus* is exponential and varies according to the phytohormone that is used, in so far as is kept a 1:8:8:8 relation of the culture medium (MIB) to which is added 0.69 mM of Kin + 0.61 μ M of AIB. The values for this variable were higher than those of Dávila *et al.* (2005) and Clayton *et al.* (1990) for *Escobaria missouriensis* (Sweet) D.R. Hunt, *Pediocactus paradinei* B. W. Benson and *Toumeyia papyracantha* (Engelm) Britton *et Rose*, whose maximum multiplication rate was 6.0 shoots per explant.

In the case of the studied cactus, the maximum multiplication rate in a 1:10:10:10 relation results from an *in vitro* essay in a MIB culture medium (1:10:10:10 relation). This number is similar to what is recorded in species of the genus *Coryphantha*, *Echinocereus* and *Mammillaria* (Clayton *et al.*, 1990) and in *Astrophytum myriostigma* Lem. (Villavicencio *et al.*, 2006; 2009), but that is over that recorded for other species of Mexican cacti such as *Mammillaria voburnensis* Scheer and *Mammillaria elongata* DC. (Ordóñez, 2003; Papafotiou, *et al.*, 2001).

Stage 3. Rooting and acclimatization

In greenhouses when ornamental plants are produced a great variety of organic and inorganic materials is used, as simple or mixed substrata that provide the medium for plant growth such as fine "tezontle", "tepojal" (extrusive volcanic rock of vesicular texture, bubbled and porous that keeps heat), coconut dust, clinkstone, sand, mashed leaf-soil, "peat moss", vermiculite, mashed sugar cane bagasse, rice husk and sawdust.

Stem height increment (SHI). In the three first dates of application were determined highly significant differences

Incremento en altura del tallo (IAT). En las tres primeras fechas de aplicación se determinaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los efectos independientes S y CONC, de tal manera que, al final de la evaluación, el IAT fue estadísticamente igual en los tres primeros sustratos evaluados (S1=arena, S2= peat moss y S3= negra), con un IAT de 17 mm, superior al de las plantas aclimatadas en el sustrato S4. Se obtuvo un efecto positivo con la interacción SxCONC, cuando se inoculó la cepa de *Azospirillum brasilense* en baja concentración (CONC1=1.5x10⁶ UFC/ ml-1), y los tres sustratos referidos superan en IAT al resto de los tratamientos. Al final del proceso de aclimatación se tuvieron plantas entre 4 y 7 cm de altura con un 95% de sobrevivencia; con ello se demuestra que la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) influye positivamente en el aumento de IAT, a diferencia de sus homólogos, los testigo, en donde los que los IAT resultaron estadísticamente igual y menor a 2 mm (cuadros 5 y 6).

($P \leq 0.05$) between the independent S effects and the CONC, in such a way that, at the end of the assessment, the SHI was statistically equal in the three first evaluated substrates (S1=sand, S2= peat moss and S3= black) with a SHI = 17 mm, which is higher to the acclimatated plants in substrate S4. A positive effect with the SxCONC interaction was obtained when the *Azospirillum brasilense* in a low concentration (CONC1=1.5x10⁶ UFC/ ml-1), was inoculated and the three referred substrata surpass the SHI of the rest of the treatments. At the end of the acclimatization process plants were between 4 and 7 cm high with a 95% survival; thus, it is proved that the concentration of colony-forming units (CFU) has a positive influence upon the increment of SHI, compared to their homologous, the controls, in which SHI were statistically equal or below 2 mm (Tables 5 and 6).

Cuadro 5. Significancia de las variables Incremento en altura de tallo, longitud de raíz y número de raíces evaluadas en el enraizamiento de *Turbinicarpus knuthianus* en invernadero.

Table 5. Significance of the stem height increment, root length and number of assessed roots in the rooting of *Turbinicarpus knuthianus* at the greenhouse.

F. V.	gl	IAT	NR	LR
Sustrato (S)	3	**	**	**
Concentración cepa (CON)	2	**	**	
REP	2			
SxCONC	6	**	**	
SxCONCXREP	22	**		**
Error	324			
Total	359			
r ²		0.65	0.66	60.42
CV (%)		21.82	27.41	15.19
Media		1.1	3.96	2.30

gl= grados de libertad; ** Diferente de cero ($P \leq 0.01$); CV= Coeficiente de variación; IAT = incremento en altura de tallo; NR = número de raíces; LR = longitud de raíz.
 gl= degrees of freedom; ** Different from zero ($P \leq 0.01$); CV= Coefficient of variation; IAT = increment of stem height; NR = number of roots; LR = root length

Cuadro 6. Influencia del sustrato en el incremento de altura de tallo, longitud de raíz y número de raíces durante la aclimatación de *Turbincarpus knuthianus*.

Table 6. Influence of substrate upon stem height increment, root length and number of roots during the acclimatization of *Turbincarpus knuthianus*.

Sustrato	IAT	LR	NR
	(cm)	(cm)	
S1	1.25 a	2.97 a	4.32 a
S2	1.12 a	2.15 bc	4.12 a
S3	1.19 a	2.35 b	4.24 a
S4	0.88 b	1.75 c	3.16 b
DMS	0.22	0.41	0.41

Medias con letras iguales entre columnas, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

IAT = incremento en altura de tallo; NR = número de raíces; LR = longitud de raíz; S1=arena, S2= "peat moss", S3= negra y S4= mezcla homogénea de las tres anteriores; DMS = Diferencia mínima significativa.

Means with the same letters between columns, are not statistically different (Tukey, 0.05).

IAT = stem height increment; NR = number of roots; LR = root length; S1=sand, S2= "peat moss", S3= black and S4= homogeneous mixture of the three mentioned before; DMS = Least significant difference.

Número de raíces (NR). Se obtuvo un efecto igual al descrito para el IAT con los tres sustratos usados. En promedio 4 raíces por planta, con la misma concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) (cuadros 5 y 6). Los resultados duplican en NR a los observados con sus tratamientos homólogos, pero sin la aplicación de la cepa, lo que muestra que *T. knuthianus* tiene niveles endógenos de auxinas que le permiten inducir el proceso rizogénico, como lo citado para *Capsicum chinese* Jacquin, con una concentración similar (CONC1=1.5x10⁶ UFC ml⁻¹) (Canto et al., 2004) (Cuadro 7); sin embargo son relativamente bajos comparados con los de otras especies (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) según Tomasz et al. (2006).

Al analizar los tratamientos como efectos independientes, el tratamiento T2 en la prueba de medias (Tukey ∞ 0.05) resultó significativo, con un valor máximo de 6 raíces por planta, mientras que T1 y T3 fueron estadísticamente iguales con 5 raíces por planta, y duplican el número de raíces, con respecto a los tratamientos homólogos sin la aplicación de la cepa, cuyo número de raíces no fue mayor a 2 por planta, lo que confirma que la especie tiene niveles endógenos de auxinas (Canto et al., 2004) (Cuadro 8, Figura 5).

Cuadro 7. Influencia de la concentración de las unidades formadoras de colonias de *Azospirillum brasilense* en el incremento de altura del tallo, longitud de raíz y número de raíces durante la aclimatación de *Turbincarpus knuthianus*.

Table 7. Influence of *Azospirillum brasilense* concentration of colony-forming units (CFU) upon stem height increment, root length and number of roots during the acclimatization of *Turbincarpus knuthianus*.

Concentración	IAT	LR	NR
	(cm)	(cm)	
0	0.28 c	2.45 a	2.16 b
1	1.63 a	2.21 a	4.92 a
2	1.42 b	2.25 a	4.80 a
DMS	0.17	0.42	0.33

Medias con letras iguales entre columnas, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

CONC1= 1.5x10⁶ y CONC 2= 3x10⁷ UFC/ ml-1 de *A. brasilense*; IAT = incremento en altura de tallo; NR = número de raíces; LR = longitud de raíz; DMS = Diferencia mínima significativa.

Means with the same letters between columns, are not statistically different (Tukey, 0.05).

CONC1= 1.5x10⁶ and CONC 2= 3x10⁷ UFC/ ml-1 of *A. brasilense*; IAT = stem height increment; NR = number of roots; LR = root length; DMS = Least significant difference.

Number of roots (NR). The same effect to that described for the IAT was obtained with the three substrates that were used. Four roots per plant in average, with the same concentration of colony-forming units (CFU) (Tables 5 and 6). These results duplicate the NR observed in the homologous treatments, but without the bacteria, which shows that *T. knuthianus* has endogenous levels of auxines that helps in the rhizogenic process as has been reported for *Capsicum chinese* Jacquin, with a similar concentration (CONC1=1.5x10⁶ UFC ml⁻¹) (Canto et al., 2004) (Table 7); however, they are rather low compared to other species (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) according to Tomasz et al. (2006).

While analyzing the treatments as independent events, T2 treatment in the mean test (Tukey ∞ 0.05) was significant, with a maximum value of 6 roots per plant, while T1 and T3 were statistically the same with 5 roots per plant, and doubled the number of roots in regard to the homologous treatments without the bacterium, whose number of roots was not over 2 per plant, which confirms that the species has endogenous levels of auxines (Canto et al., 2004) (Table 8, Figure 5).

Cuadro 8. Comparación de medias de los tratamientos evaluados en el enraizamiento y aclimatación de *Turbinicarpus knuthianus*.
 Table 8. Comparison of the means of the assessed treatments of rooting and acclimatization of *Turbinicarpus knuthianus*.

Tratamientos	IAT	LR	NR	AFP	Supervivencia (%)
	(cm)	(cm)		(cm)	
T1 Arena + 1.5x10 ⁶ UFC/ ml-1 cepa	1.73 ab	2.67 a	5.20 b	4.28 ab	90 b
T2 Peat moss + 1.5x10 ⁶ UFC/ ml-1 cepa	2.09 a	2.50 ab	5.90 a	7.6 a	100 a
T3 Tierra de monte + 1.5x10 ⁶ UFC/ ml-1 cepa	1.88 ab	2.25 cd	5.20 b	5.35 ab	100 a
T4 Mezcla de sustratos + 1.5x10 ⁶ UFC/ ml-1 cepa	0.82 de	1.42 f	3.40 e	2.71 c	90 b
T5 Arena + 3x10 ⁷ UFC/ ml-1 cepa	1.46 bc	2.45 bc	5.26 b	6.46 a	90 b
T6 Peat moss + 3x10 ⁷ UFC/ ml-1 cepa	1.19 cd	1.94 e	4.60 c	2.97 c	90 b
T7 Tierra de monte + 3x10 ⁷ UFC/ ml-1 cepa	1.48 bc	2.53 ab	5.33 b	4.69 ab	80 c
T8 Mezcla de sustratos + 3x10 ⁷ UFC/ ml-1 cepa	1.56 bc	2.06 de	4.00 d	2.4 cd	90 b
T9 Arena + Fertilización (Testigo)	0.55 ef	1.76 cd	2.50 f	2.35 cd	80 c
T10 Peat moss + Fertilización I (Testigo)	0.09 f	1.42 f	1.86 g	1.8 d	60 c
T11 Tierra de monte + Fertilización (Testigo)	0.20 f	1.36 g	2.20 fg	1.5 d	70 c
T12 Mezcla de sustratos + Fertilización (Testigo)	0.28 f	1.34 g	2.10 fg	1.25 e	80 c
DMS	0.52	0.15	0.34	4.28	
Media	1.11	1.97	3.96	3.61	85
CV	19.27	10.34	13.18	5.35	

Medias con letras iguales entre columnas, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). IAT = incremento en altura de tallo; NR = número de raíces; LR = longitud de raíz; AFP = Altura final de la planta.
 Means with the same letters between columns, are not statistically different (Tukey, 0.05). IAT = stem height increment; NR = number of roots; LR = root length; AFP = Final plant height.



Figura 5. Efecto de *Azospirillum brasilense*. en el proceso rizogénico de *Turbinicarpus knuthianus*. Invernadero del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP.
 Figure 5. Effect of *Azospirillum brasilense* in rhizogenic process of *Turbinicarpus knuthianus*. Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP.

Longitud de raíces (LR). La interacción SxCONC, presentó diferencias significativas, y con el sustrato poroso (S1=arena) se obtuvo una LR (LR= 3 cm) superior al resto de los sustratos, por lo que se infiere que puede utilizarse cepa de *A. brasiliense* para el enraizamiento y aclimatación de *T. knuthianus*, ya que entre la planta y la bacteria se verifica una "simbiosis asociativa", que favorece la producción de hormonas de crecimiento, cambios morfológicos y fisiológicos en las cactáceas que a su vez promueven, en menor tiempo, el desarrollo de raíces con mayor crecimiento, lo que influye en la toma de agua y sales minerales (Burdman *et al.*, 2000; Okon y Labandera-González, 1994) (cuadros 5 y 6).

De acuerdo a Kapulnik *et al.* (1985), la aplicación de 10^7 UFC mL⁻¹ incide en el número y longitud de total de raíz, en tanto que la inoculación de 10^8 UFC mL⁻¹ causa la inhibición de desarrollo. El efecto rizogénico es similar al consignado por otros autores; al trabajar con *Pachycereus pringlei* (S. Watson) Britton *et Rose*, la concentración de 1.5×10^6 UFC L⁻¹ de *Azospirillum* spp. inoculado a un suelo pobre de áreas desérticas, incrementa la materia vegetal hasta un 60% y el largo de las raíces en un 100%. Para el caso de *T. knuthianus* se determinó que la bacteria invadió el sistema radical del cactus, durante los primeros 30 días de aclimatación considerando este tiempo como un período de adaptación (Pacovsky *et al.*, 1985; Puente y Bashan, 1993).

Supervivencia. El crecimiento *ex vitro* es autotrófico, y no heterotrófico como en condiciones *in vitro*, por lo que es necesario reconstruir y desarrollar procesos y estructuras adaptativos como lignificación, cubiertas cuticulares, estomas y órganos fotosintéticos para que las plantas tengan un desarrollo autónomo, mismo que ocurre durante la aclimatación. Al respecto, se obtuvieron diferencias significativas entre sustratos con y sin inoculación de la cepa; las plantas que fueron aclimatadas con la interacción de la cepa registraron una supervivencia mayor al 91%, independientemente del tipo de sustrato, mientras que sus homólogos sin la cepa sólo alcanzaron un valor promedio de 72 %, y el tratamiento T10 presentó mayor contenido de humedad lo cual provocó un incremento en la pudrición de las plantas (Cuadro 8 y Figura 6). Trinidad (2005) cita el mismo efecto en *T. knuthianus* con un porcentaje bajo de supervivencia (60%).

A pesar de que se trata de un sustrato estéril comúnmente usado en plantas ornamentales de tallo suculento, los resultados muestran que para la especie de interés es poco recomendable, ya que sus requerimientos de humedad son bajos. *T. knuthianus* es una planta propia de condiciones semiáridas, por lo que se propone utilizar un sustrato poroso como lo refieren Johnson y Emimo (1979 b). Los tratamientos T1 y T5 tuvieron un efecto positivo en la aclimatación, si se inocula con una cepa rizogénica, en ambos casos se observó una sobrevivencia estadísticamente igual (90%).

Root length (LR). The SxCONC interaction showed significant differences, and with the porous substrate (S1=sand) LR was higher than the rest of the substrates (LR= 3 cm), from which it can be inferred that *A. brasiliense* may be used for the rooting and acclimatization of *T. knuthianus*, since an "associative symbiosis" takes place between the plant and the bacterium which favors the production of growth hormones, morphologic and physiologic changes in cacti that promote, as well, in a shorter time, the development of roots with greater growth, which influences water and mineral salts uptake (Burdman *et al.*, 2000; Okon and Labandera-González, 1994) (Tables 5 and 6).

According to Kapulnik *et al.* (1985), the application of 10^7 UFC mL⁻¹ affects the number and total root length, while the inoculation with 10^8 UFC mL⁻¹ causes development inhibition. The rhizogenic effect is similar to that reported by other authors; when testing *Pachycereus pringlei* (S. Watson) Britton *et Rose* with an *Azospirillum* spp. concentration of 1.5×10^6 UFC L⁻¹, inoculated to a poor soil of desert lands, green matter increases up to 60% and root length, 100%. For *T. knuthianus* it was determined that the bacterium invaded the root system of the cactus during the first 30 days of acclimatization, taking this time as an adaptation period (Pacovsky, *et al.*, 1985; Puente and Bashan, 1993).

Survival. *Ex vitro* growth is autotrophic, and not heterotrophic as *in vitro*, which makes it necessary to reconstruct and develop processes and adaptive structures such as lignification, cuticular covers, stomas and photosynthetic organs for an autonomous development of plants, which takes place during acclimatization. In this regard, significant differences were obtained between substrates with or without inoculation of strains; the plants that were acclimatized with the strains interaction registered a survival over 91%, regardless of the substrate, while their homologous without strains showed an average value of 72% and the T10 treatment, a higher humidity content, which produced an increment in plant rottenness (Table 8 and Figure 6). Trinidad (2005) describes the same effect for *T. knuthianus* with a low survival per cent (60%).

In spite of being a sterile substrate regularly used in ornamental plants of succulent stem, results show that for the studied species it is not advisable, since its moisture requirements are low. *T. knuthianus* lives in a semi-arid environment, which suggests the convenience of using a porous substrate (Johnson and Emimo, 1979b). The T1 and T5 treatments had a positive effect on acclimatization if inoculation is includes a rhizogenic strain; in both cases, survival was statistically the same (90%).

These results show the ability that *in vitro* cultivated plants have to control water loss through activation of their stomata (Santamaría *et al.*, 1995; Santamaría, 1996) and that the morpho-physiologic behavior and the biochemistry



Figura 6. Planta aclimatada de *Turbinicarpus knuthianus*, a los 90 días de desarrollo en condiciones de invernadero, inoculadas con *Azospirillum brasilense*.

Figura 6. Acclimatized *Turbinicarpus knuthianus* plants after 90 days of development under greenhouse environment inoculated with *Azospirillum brasilense*.

Estos resultados muestran la capacidad que tienen las plantas cultivadas *in vitro* para controlar la pérdida de agua a través de la activación de sus estomas (Santamaría *et al.*, 1995; Santamaría, 1996), y que el comportamiento morfo-fisiológico y la bioquímica de las plántulas aclimatadas dependen de las condiciones hetero-mixotróficas a las que están expuestas durante este proceso.

CONCLUSIONES

En especies con un número reducido de semillas, como es el caso de *T. knuthianus*, la pérdida de plántulas limita su regeneración en condiciones controladas, por lo que la selección del medio de cultivo es importante en la etapa de establecimiento, dado que su efecto se refleja en las siguientes fases de la micropropagación.

La micropropagación es un método factible para regenerar especies de cactáceas, involucra cuatro etapas en las cuales se pueden producir vitroplantas de tamaño uniforme y con buena calidad fitosanitaria. Mediante el cultivo de tejidos vegetales y el uso de microorganismos promotores del crecimiento de las plantas, se pueden optimizar procesos biológicos de este tipo de especies de importancia ecológica y económica.

El uso de rizobacterias es una alternativa exitosa para la aclimatación de *T. knuthianus*, ya que mantiene la fertilidad del suelo, sin causar contaminación ambiental. 🌱

of acclimatized seedlings depend on the hetero-mixotrophic conditions to which they are exposed during this process.

CONCLUSIONS

In species with a small amount of seeds, as *T. knuthianus*, the loss of seedlings limits its regeneration under control conditions; thus, the selection of culture medium is important in the establishment stage, since their effect affects the following micropropagation phases.

Micropropagation is a feasible method to regenerate cacti species involves four stages, in which vitro-plants of a uniform size and with good phytosanitary quality may be produced. By means of vegetal tissue culture and the use of microorganisms that promote growth in plants, biological process of this kind of species of ecological and economic importance might be optimized.

The use of rhizobacteria is a successful option for the acclimatization of *T. knuthianus*, since it holds soil fertility without causing environmental pollution. 🌱

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge CONAFOR-CONACYT for having sponsored the CO3-10569 project, as well as to the Fundación Produce Coahuila A. C. and to SNICS-SINAREFI for the support that gave birth to the actual work. Also to the Comisariados ejidales and to the producers of the different municipalities of San Luis Potosí State for their help and the facilities that they provided to accomplish the field work.

End of the English version

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al fondo sectorial CONAFOR-CONACYT por el financiamiento del proyecto CO3-10569, así como a la Fundación Produce Coahuila A. C. y al SNICS-SINAREFI por el apoyo que dio origen al presente trabajo. También se agradece a los Comisariados ejidales y productores de los diferentes municipios de San Luis Potosí por su colaboración y facilidades brindadas para los trabajos de campo.

REFERENCIAS

- Araya E., L. Gómez, N. Hidalgo y R. Valverde. 2000. Efecto de la luz y del ácido giberélico sobre la germinación *in vitro* de jaul (*Alnus acuminatay*) *Agronomía Costarricense* 24(1): 75-80.
- Burdman S., Y. Okon and E. Jurkevitch. 2000. Surface characteristics of *Azospirillum brasilense* in relation to cell aggregation and attachment to plant roots. *Crit. Rev. Microbiol.* Vol 26:91-110.
- Canto M., J. C. S. Medina P. y D. Morales A. 2004. Efecto de la inoculación con *Azospirillum* sp. en plantas de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacquin). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 4(1): 21-27.
- Carletti S., M. E. Rodríguez C. A. y E. Llorente B. 2003. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la micropropagación de plantas. In: Albanesi, A., A. Anriquez, S. Luna, C. Kunst y R. Ledesma (Eds.). *Microbiología Agrícola. Un aporte de la investigación Argentina.* Universidad Nacional de Santiago del Estero. Ciudad Santiago del Estero, Argentina. pp. 119-129.
- Clayton, P. W., J. F. Hubstenberger and G. Phillips C. 1990. Micropropagation of members of the Cactaceae subtribe Cactinoe. *J. Amer. Soc. Hor. Sci.* 115(2):337-343.
- Dabekausen, M. A. A., R. L. M. Pierik, J. D. Van der Laken and J. Hoek Spaans. 1991. Factors affecting areole activation *in vitro* in the cactus *Sulcorebutia alba*. *Rausch. Sci. Hort.* 46:283-294.
- Dávila, F. C. A., De La Rosa, C. M. L., Pére, M. B. 2005. *In vitro* propagation of eight species or subspecies of *Turbincarpus* (Cactaceae). *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* 41: 540-545.
- De La Rosa-Ibarra M., García H. 1994. Estimulación de la germinación de cinco especies de cactáceas consideradas en peligro de extinción. *Phyton-Int. J. Exp. Bot.* 56: 147-150.
- De la Vega, B. y R. Alizaga, 1987. Efecto del ácido giberélico y del preenfriamiento sobre la ruptura del reposo en semillas de salvia. *Agronomía Costarricense.* 11(1): 89-95.
- Díaz-Zorita, M., R. Ballina, M. Fernández C., C. Penna and A. Peticari A. 2004. Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) with *Azospirillum brasilense* in the Pampas region, Argentina. 22nd Latin American Conference on Rhizobiology. Brasil. *Journal of Soil Biology* 45: 28-35.
- Dutra D., R. Timothy J., P. J. Kauth, L. Scott S., M. E. Kane and L. Richardson 2008. Asymbiotic seed germination, *in vitro* seedling development, and greenhouse acclimatization of the threatened terrestrial orchid *Bletia purpurea*. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 94: 11-21.
- Escobar H., A. 1985. Micropropagación y almacenamiento *in vitro* de *Opuntia amyclaea* Tenore. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. México. 80 p.
- Fay, M. F. and J. Gratton. 1992. Tissue culture of cacti and other succulents: a literature review and a report on micropropagation at Kew. *Bradleya.* 10: 33-48.
- Giusti, P., D. Vitti, F. Fiocchetti, G. Colla, F. Saccardo and M. Tucci. 2002. *In vitro* propagation of three endangered cactus species. *Scientia Horticulturae* 95(4): 319-332.
- Hubstenberger J. F. P., W. Clayton and G. Phillips C. 1992. Micropropagation of Cacti (Cactaceae) IV. *Biotechnology in Agriculture and Forestry* 20:49-68.
- Hunt, D., N. Taylor and G. Charles (Eds.) 2006. *The New Cactus Lexicon. Descriptions and illustrations of the cactus family.* International Cactaceae Systematic Group. DH Books. UK. Vol. I, 375 p.
- Johnson J. L. and E. Emino R. 1979a. Tissue culture propagation of cacti. *Cact. Succ. J. (US)* 51: 275-277.
- Johnson J. L. and E. Emino R. 1979b. *In vitro* propagation of *Mammillaria elongata*. *Hort Science* 14(5): 605-606.
- Kapulnik Y., Y. Okon and Y. Henis. 1985. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation. *Can. J. Microbiol.* 31:881-887.
- Kauth J. P., A. Wagner V. and E. Michael K. 2006. *In vitro* seed culture and seedling development of *Calopogon tuberosus*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture.* 85(1): 91-102.
- Maiti R., K., P. Hernández J. L. and M. Valdez M. 1994. Seed ultrastructure and germination of some species of Cactaceae. *Phyton No.* 55 pp. 97-105.
- Malda, G., H. Suzan and R. Backhaus. 1999. *In vitro* culture as a potential method for the conservation of endangered plants possessing crassulacean acid metabolism. *Sci Hortic* 81(1):71-87.
- Martínez V., O. and A. Rubluo. 1989. *In vitro* mass propagation of the near-extinct *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mejorada. *J. Hort. Sci.* 61(1):99-105.
- Mata, R. M., M. Monroy-De La Rosa, K. M. Goldammer and V.M. Chávez-Ávila. 2001. Micropropagation of *Turbincarpus laui* Glass et Foster, an endemic and endangered species. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* 37: 400-404.
- Mauseth, D. J. 1976. Cytokinin and gibberellic acid-induced effects on the structure and metabolism of shoot apical meristems In: *Opuntia polyacantha* (cactaceae). *Amer. J. Bot.* 63 (10): 1295-1301.
- Mauseth, D., J. 1978. An investigation of the phylogenetic and ontogenetic variability of shoot apical meristems in the Cactaceae. *Amer. J. Bot.* 65(3): 326-333.
- Mauseth, D. J. 1979. A new method for the propagation of cacti: sterile culture of axillary buds. *Cact. and Succ. J.* (51): 186-187.
- Moebius-Goldammer K., M. Goldammer, R. Mata M. and V. Chávez M. 2003. Organogenesis and somatic embryogenesis in *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum. (Cactaceae), an endemic and endangered Mexican species. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* 39(4): 388-393.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium of rapid growth and bioassays with tobacco cultures. *Physiol. Plant* 15: 473-497-
- Murashige, T. 1974. Plant propagation through tissue cultures. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 25: 135-166.
- Okon, Y. 1985. *Azospirillum* as a potential inoculant for agriculture. *Trends in Biotechnology.* pp. 223-228.
- Okon, Y. and C. A. Labandera-González. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biol. Biochem.* 26:1591-1601.
- Ordóñez M., M. A. 2003. Propagación *in vitro* de *Mammillaria voburnensis* Scheer. (Cactaceae) Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala, Guatemala. 70 p.
- Pacovsky, R. S., E. A. Paul and G. J. Bethlenfalvay. 1985. Nutrition of sorghum plants fertilized with nitrogen or inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Plant Soil* 85:145-148.
- Papafotiou M., G. Balotis N., T. Panayioti L. and J. Chronopoulos. 2001. *In vitro* plant regeneration of *Mammillaria elongata* normal and cristate forms. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 65: 163-167, 2001.
- Pelah D., R. Kaushik A., Y. Mizrahi and Y. Sitrit. 2002. Organogenesis in the vine cactus *Selenicereus megalanthus* using thidiazuron. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 71: 81-84, 2002.
- Pérez, M. B., E. Villalobos, E. Meza E., L. R., Morones and J. Lizalde, 1998. Propagation of 21 species of Mexican cactus by axillary proliferation. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* 34: 131-135.
- Pierik, R. L. M. 1987. *In vitro* culture of higher plants. Martinus Nijhoff Publishers. Boston, MA USA. pp. 54-82
- Puente, M. E. and Y. Bashan. 1993. Effect of inoculation with *A. brasilense* strains on the germination and seedlings growth of the giant columnar Cardon cactus (*Pachycereus pringlei*). *Symbiosis*, 15:49-60.
- Rodríguez, G. B. and A. Rubluo. 1992. *In vitro* morphogenetic responses of the endangered cactus *Aztekium ritteri* (Boedeker). *Cact. Succ. J.* 64 (3):116-119.
- Rojas A., M. 2008. Efecto del ácido giberélico en la germinación de cuatro especies del género *Mammillaria* del Valle de Tehuacán-Cuicatán, México. *Bol. Soc. Latin. Carib. Cact. Suc.* 5(1), 21-23

- Santamaría, J. M., W. J. Davies, and C. J. Atkinson. 1993. Stomata of micropropagated delphinium plants respond to ABA, CO₂, light and water potential, but fail to close fully. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 44. (258) pp. 99- 107.
- Santamaría, J. M., J. L. Herrera and M. L. Robert. 1995. Stomatal physiology of micropropagated CAM plant: *Agave tequilana* (Weber). *Plant Growth Regulation*. 16: 211- 214.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Anexo Normativo II. http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones_normas/rec_nat/no_059a2g.html. (4/marzo/2011).
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS/STAT user's guide. Release 10.0 ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC. USA. 1,028 p.
- Tomasz P., W., M. Hamerska and M. Wróblewska. 2006. Organogenesis of vegetative shoots from *in vitro* cultured flower buds of *Mammillaria albicoma* (Cactaceae). *Plant Cell Tiss Organ Cult* 87:27-32
- Trinidad G., R. 2005. Multiplicación *in vitro* de *Astrophytum myriostigma* Lem. y *Turbincarpus knuthianus* Boed. y aclimatación de éstas especies y *T. lophophoroides* Werd. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Buenavista Saltillo, Coah., México. 85 p.
- Villalobos A., V. y M. Thorpe. 1985. La micropropagación: conceptos, metodología y resultados. *In: Fundamentos y Aplicaciones del cultivo de tejidos en la agricultura*. W. Roca CIAT. Bogotá, Colombia. pp. 67-85.
- Villavicencio G., E. E., A. Cano P. y I. H. Almeyda L. y M. A. Arellano G. 2006. Nueva técnica para la producción comercial del bonete o birrete de obispo (*Astrophytum myriostigma* Lem.) Cactacea ornamental del desierto Chihuahuense. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto para productores Núm. 12. ISBN 970-43-0118-9 Coahuila, México. 10 p.
- Villavicencio G., E. E., A. Cano P. y A. Juárez S. 2009. Micropropagación producción de plantas del bonete o birrete de obispo, cactácea ornamental amenazada de extinción del desierto Chihuahuense. Campo Experimental Saltillo. INIFAP-CIRNE. Folleto Técnico Núm. 39. ISBN 978-607-425-130-2 Coahuila, México. 42 p.
- Villavicencio G., E. E., A. Arredondo G., M. A. Carranza P., O. Mares A., S. Comparan S. y A. González C. 2010. Cactáceas ornamentales del desierto Chihuahuense que se distribuyen en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León, México. Libro Técnico No. 2 ISBN: 978-607-425-473-0 Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP, Saltillo Coahuila, México. 345 p.
- Vyskot, B. and Z. Jara. 1984. Clonal propagation of cacti through axillary buds *in vitro*. *J. Hort. Sci.* 59(3): 449-452.
- Yassen-Mohamed, Y., S. Barringer A., W. Splittstoesser E. and R. J. Schnell. 1995. Rapid propagation of tuna (*Opuntia ficus indica*) and plant establishment in soil. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 42:117-119.

MODELOS VOLUMÉTRICOS FUSTALES PARA *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. EN PLANTACIONES AGROFORESTALES DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA

STEM TAPER MODELS FOR *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. IN AGROFORESTRY PLANTATIONS OF THE NORTHERN RANGE OF PUEBLA STATE

J. Amador Honorato-Salazar¹

RESUMEN

El cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*) fue introducido aproximadamente en 1992 en la región norte del estado de Puebla como árbol de sombra para plantaciones de café. El área que ocupa esta especie es de 1,630 ha, que pronto estarán listas para cosecharse. No obstante, se carece de la información técnica que ayuda a su manejo, en particular aquella que permita predecir el volumen que se extraerá en las cortas de aclareo o al final del turno. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo fustal para *A. fraxinifolius* de plantaciones agroforestales. Se ajustaron doce de ellos a los datos de diámetro-altura, a partir del muestreo destructivo de 130 árboles; además, se utilizaron seis estadísticos de ajuste fueron para jerarquizar los modelos fustales. De acuerdo con el valor de jerarquización, los mejores seis fueron seleccionados para realizar el análisis adicional para la multicolinealidad, el efecto de la autocorrelación y la heterocedasticidad. El modelo de Thomas y Parresol resultó ser el más adecuado para describir los datos experimentales de cedro rosado, porque no presentó problemas de multicolinealidad, según lo indicado por el valor de índice de condición. El procedimiento estadístico de la regresión ponderada se aplicó a este modelo para considerar la heterocedasticidad, el cual mejoró su capacidad de predicción. Por lo tanto, el modelo ponderado es recomendado para la estimación del diámetro a diferentes alturas, y los volúmenes comercial y total del fuste de cedro rosado en las plantaciones agroforestales de la región de estudio.

Palabras clave: *Acrocarpus fraxinifolius*, ahusamiento, cedro rosado, modelo fustal, plantaciones agroforestales, volumen comercial.

ABSTRACT

Acrocarpus fraxinifolius or pink cedar was introduced in 1992 to the Northern region of Puebla State in small areas as shade tree in coffee plantations. The area with this species is near 1,630 ha, which soon will be ready for harvesting. However, there is not technical information that helps with the forest management of the plantations to predict the individual tree volume and stand volume to be removed during thinning or final cuts. Therefore, the objective of this work was to develop a stem taper model for pink cedar of the agroforestry plantations in the Northern mountain region of Puebla. Twelve stem taper models were fitted to diameter-height data from 130 destructively sampled trees and six fit statistics were used for ranking the taper models. Based on the ranking value, the best six models were selected to carry out further analysis for multicollinearity, effect of autocorrelation and heteroscedasticity. The model of Thomas and Parresol was selected as the most suitable to describe the experimental data of pink cedar, because it did not show problems of multicollinearity, as indicated by the index value condition. In addition, the statistical procedure of weighted regression was applied to this model in order to account for heteroscedasticity, which improved the predictive capacity of the model. The weighted model is therefore recommended for the estimation of diameter at different height, merchantable and total volume of pink cedar stems for agroforestry plantations in the region of study.

Key words: *Acrocarpus fraxinifolius*, tree taper, pink cedar, stem taper model, agroforestry plantations, total volume.

Fecha de recepción: 22 de junio de 2011

Fecha de aceptación: 28 de junio de 2011

¹ Campo Experimental San Martinito, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, INIFAP. Correo-e : honorato.amador@inifap.gob.mx

INTRODUCCIÓN

El cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.) es nativo del sureste asiático, de los bosques de Bangladesh, Birmania, Borneo, China, India, Indonesia, Nepal, Sumatra, Tailandia y Vietnam (Neil, 1990; CAB, 2005). La especie crece desde 10° latitud sur a 27° latitud norte y de los 75° a los 130° de longitud este, en un intervalo altitudinal de 0 a 1,800 m, aunque es posible encontrarla por arriba de los 2,000 m, pero su la altitud óptima de crecimiento es entre 600 y 1,500 m (Ghildyal, 1989; CAB, 2005; FAO, 2007). Sus requerimientos de temperatura son de 18° a 27° C, pero puede soportar temperaturas extremas de 12 °C y 35° C. La precipitación media anual es de 1,100 a 5,000 mm, y en algunas regiones de la India alcanza 8,500 mm (Puri, 1961; Michon *et al.*, 1986; Negi, 2000; CAB, 2005; FAO, 2007).

La introducción del cedro rosado en México data de 1961 en la ciudad de Oaxaca, Oax. y después en Tuxtla Gutiérrez, Chis. (Chavelas, 1985); sin embargo los estudios de evaluación de la especie se iniciaron diez años después en plantaciones experimentales de Bacalar, Q. Roo, Esárcega, Camp. y Huimanguillo, Tab. En estos se observaron incrementos anuales promedio en altura de 2.3 m, en diámetro de 3 cm y en volumen de 44.62 m³ r en siete años (Cedeño, 1985; Chavelas, 1985). No obstante, sus plantaciones no prosperaron, porque los árboles presentaron muerte descendente a partir de los 9 años, por lo que los estudios se suspendieron. A pesar de los resultados obtenidos, se han establecido plantaciones puras, en sistemas agroforestales que lo combinan con café, maíz, chile, frijol (Elorza *et al.*, 2006) o limonaria; así como en sistemas silvo-pastoriles. Campeche, Chiapas, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco y Veracruz son los estados en donde se ubican sus plantaciones y cuya superficie se ha incrementado en los últimos años, por el apoyo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2006).

En la Sierra Norte de Puebla se empezó a utilizar como sombra en el cultivo de café, en 1992. La superficie plantada con esta especie es de alrededor de 1,630 ha, ubicadas en los municipios de Jopala, Tlacuilotepec, Tlaxco, Venustiano Carranza, Xicotepec y Zihuateutla (Honorato *et al.*, 2005). Los árboles establecidos tienen excelentes crecimientos, con fustes casi cilíndricos y ramificaciones por arriba de los 15 m, lo que favorece su extracción y procesamiento industrial. Sin embargo, se desconocen diversos aspectos técnicos que permitan aplicar un manejo óptimo a las plantaciones de esta especie.

El manejo silvícola requiere de herramientas precisas para realizar la predicción exacta de la cosecha, tanto intermedia como final de las masas arbóreas, además de proporcionar el soporte técnico para la toma de decisiones en

INTRODUCTION

Pink cedar (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.) is a native species of Southeastern Asia from the forests of Bangladesh, Birmania, Borneo, China, India, Indonesia, Nepal, Sumatra, Tailandia y Vietnam (Neil, 1990; CAB, 2005). The species grows from 10° South latitude to 27° North latitude and from 75° to 130° East long, in an altitude range from 0 to 1,800 m, even though it may be found over 2000 m high, but its optimal growth altitude is between 600 and 1,500 m (Ghildyal, 1989; CAB, 2005; FAO, 2007). Its temperature requirements are from 18° to 27°C, but it can even bear extreme temperatures of 12°C to 35°C. Annual mean precipitation is from 1,100 to 5,000 mm, and in some regions of India, it may reach 8,500 mm (Puri, 1961; Michon *et al.*, 1986; Negi, 2000; CAB, 2005; FAO, 2007).

Pink cedar was brought into Mexico in 1961 and was planted in the cities of Oaxaca, Oaxaca State and in Tuxtla Gutierrez, Chiapas State (Chavelas, 1985); however, 10 years after, the assessment studies of the species were started and later in experimental plantations of Bacalar, Q. Roo State, Escárcega, Camp State and Huimanguillo, Tabasco State.

Average annual increments of 2.3 m in height, of 3 cm in diameter and of 44.62 r m³ in volume were observed after 7 years (Cedeño, 1985; Chavelas, 1985). In spite of this, plantations were not successful as 9 year- old trees showed descending death, which made the studies to come to an end. In spite of these results, pure-species plantations have been established in agroforestry systems that combine it with coffee, maize, chili, and beans (Elorza *et al.*, 2006) or lemon grass, as well as into sylvopastoral systems. In the States of Campeche, Chiapas, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco and Veracruz are plantations of this species which have been extended in the last years with the aid of the National Forest Commission (CONAFOR, 2006)

At first, in 1992, it was used, as a shadow tree for coffee crops, in the Northern Mountain Range of Puebla State. Around 1,630 ha are planted with this species and it can be found in Jopala, Tlacuilotepec, Tlaxco, Venustiano Carranza, Xicotepec and Zihuateutla (Honorato *et al.*, 2005). The trees that have been established have great growth, with almost cylindrical stems and branches over 15 m high, which favors its extraction and industrial processing. However, several technical elements that would make it possible to apply an optimal management to the plantations of this species are still unknown.

Forestry management demands precise tools to accomplish the exact prediction of harvest, in-between and final of the tree mass, as well as to provide technical support for decision making in regard to its planning. Models are one of the most currently

su planeación. Una de las más utilizadas son los modelos de estimación de los volúmenes total y comercial de los árboles, los cuales también son esenciales en los inventarios y en la construcción de las tablas de producción (Soares y Tomé, 2002; Pérez y Kanninen, 2003; Tewari y Singh, 2006).

La estimación de los volúmenes totales y comerciales se hace mediante la aplicación de diferentes modelos de ahusamiento, que representan el perfil de los árboles (Cluter, 1980; Biging, 1984; Fang y Bailey, 1999; Bi, 2000; Kozak, 2004) y que describen matemáticamente la relación entre una cierta altura del individuo y el diámetro del fuste a la altura considerada; por lo tanto, también es posible calcularlo a cualquier altura seleccionada y viceversa (Rojo *et al.* 2005; Kozak, 2004; Trincado y Burkhart 2006). Así mismo, son importantes porque permiten definir una mejor distribución de productos y saber cómo cortar las trozas, de tal manera que el aprovechamiento maderable sea óptimo, previo a su industrialización (Epstein *et al.*, 1999; Lejeune *et al.*, 2009).

La mayor parte de los modelos de ahusamiento se ha desarrollado y aplicado para especies de coníferas; por ejemplo, 75% de los que evaluaron por Rojo *et al.* (2005) corresponden a aciculares y el resto a latifoliadas. En México, se han utilizado con diferentes especies de *Pinus* del norte del país (Návar y Domínguez, 1997; Corral *et al.*, 1999; Corral-Rivas *et al.*, 2007; Cruz-Cobos *et al.*, 2008; Corral-Rivas y Návar-Cháidez, 2009; Pompa-García *et al.*, 2009a; Pompa-García *et al.*, 2009b). Para latifoliadas, sólo en encinos de Chihuahua (Pompa y Solís, 2008; Pompa-García, *et al.*, 2009c).

Dado que no existen estudios referente al uso de estos modelos en otras latifoliadas en el país y en especial en cedro rosado, el objetivo del presente trabajo es generar modelos volumétricos fustales para las plantaciones agroforestales con dicho taxon en la Sierra Norte de Puebla, con la hipótesis de que los modelos aplicados en otras especies son factibles de aplicarse a ésta, para finalmente seleccionar el que permita proporcionar estimaciones apropiadas del volumen fustal y con ello apoyar al manejo forestal de las plantaciones de *Acrocarpus fraxinifolius*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área

Como se describió anteriormente, el área de estudio fue la Sierra Norte de Puebla, en las plantaciones agroforestales de cedro rosado ubicadas en los municipios de Venustiano Carranza, Xicotepec, Zihuateutla y Jopala. Geográficamente el área se encuentra entre los paralelos 20°10.2' y 20°31.8' de latitud norte y los meridianos 97°45.6 y 97°58.2 de longitud oeste (Figura 1); se sitúa en el sistema montañoso de la Sierra Madre Oriental, perteneciente a la Subprovincia

used options to estimate total and commercial tree volumes, which also are essential for inventory and production table construction (Soares and Tomé, 2002; Pérez and Kanninen, 2003; Tewari and Singh, 2006).

Total and commercial volume estimation is made by different taper models which represent the trees profile (Clutter, 1980; Biging, 1984; Fang y Bailey, 1999; Bi, 2000; Kozak, 2004) and that mathematically describe the relation between a determined height in the individual and the stem diameter taken at a particular height; thus, it is possible to calculate it at any height and the other way around (Rojo *et al.*, 2005; Kozak, 2004; Trincado and Burkhart, 2006). Also, they are important because they favor to define a better product distribution and to know how to cut the logs, in such a way that wood harvesting would be optimal, before its industrialization (Epstein *et al.*, 1999; Lejeune *et al.*, 2009).

Most taper models have been developed and applied for conifer species; for example, 75% of which Rojo *et al.* (2005) assessed, belong to needle-leaves and the rest to broadleaves. In Mexico, they have been tested in different *Pinus* species of the North (Návar y Domínguez, 1997; Corral *et al.*, 1999; Corral-Rivas *et al.*, 2007; Cruz-Cobos *et al.*, 2008; Corral-Rivas y Návar-Cháidez, 2009; Pompa-García *et al.*, 2009a; Pompa *et al.*, 2009b). For broad-leaved species, just in oaks from Chihuahua State (Pompa and Solís, 2008; Pompa-García *et al.*, 2009b).

Since there are no studies about the use of these models in other broad-leaves in the country, particularly of pink cedar, the aim of this study was to generate stem taper models for agroforestry plantations with this taxon in the Northern Mountain Range of Puebla State, stating as an hypothesis that the models applied in other species be used for this one, finally to select the model that provides the best estimation of taper volume and thus to support forestry management of *Acrocarpus fraxinifolius* plantations.

MATERIALS AND METHODS

The study area

As formerly described, the study area was the Northern Mountain Chain of Puebla State, in the pink cedar agroforest plantations located at Venustiano Carranza, Xicotepec, Zihuateutla and Jopala municipios. It is located between 20°10.2' and 20°31.8' North and 97°45.6 and 97°58.2 West (Figure 1); it is placed in the Sierra Madre Oriental system which belongs to the Subprovincia Carso Huasteco. Altitude varies from 350 to 1,100 m. The climates that prevail in the region are: (A)C(fm), semi-warm of the C group; A(f), moist and warm with rains all year long; Am(f), moist and warm and

Carso Huasteco. La altitud varía de 350 a 1,100 m. Los climas que predominan en la región son: (A)C(fm), semicálido húmedo del grupo C; A(f), Cálido húmedo con lluvias todo el año; Am(f), cálido húmedo y C(f), templado húmedo con lluvias todo el año, precipitación del mes más seco superior los 40 mm y lluvia invernal superior al 18 %, precipitación media anual de 1,500 a 2,500 mm y temperatura media anual de 18 a 24 °C. Las rocas son ígneas extrusivas y sedimentarias; los suelos son del tipo acrisol húmico, Litosol, litosol distrito y regosol calcárico (INEGI, 2010).

C(f), mild moist, with 1,500 a 2,500 mm as average annual precipitation and y 18 a 24 °C as average annual temperature. Rocks are of igneous extrusive and sedimentary. Soils are of the following types: humic acrisol, litosol, district litosol and calcaric regosol (INEGI, 2010).

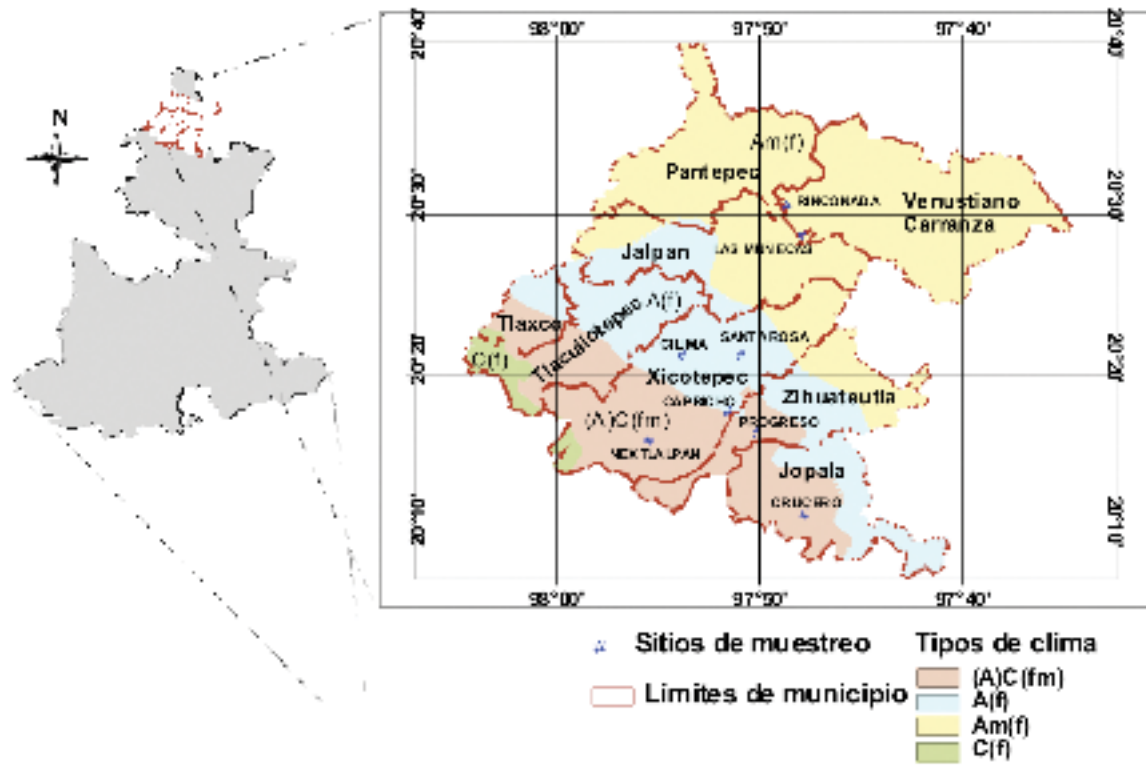


Figura 1. Localización del área de estudio

Figure 1. Study area location

La vocación del uso del suelo de la zona es principalmente agrícola, con algunas áreas de pastizales, bosque mesófilo de montaña, selva alta y mediana perennifolia, en donde son frecuentes especies como *Liquidambar styraciflua* L., *Vatairea lundellii* (Standel.) Record, *Croton draco* Schltdl., *Esenbeckia berlandieri* Baill., *Conostegia xalapensis* (Bonpl.) D. Don, *Ficus* spp. y *Cedrela odorata* L.

Land use vocation in the area is mainly agriculture, with some grasslands, cloud-forest, evergreen tropical rainforest and middle evergreen forest, where *Liquidambar styraciflua* L., *Vatairea lundellii* (Standel.) Record, *Croton draco* Schltdl., *Esenbeckia berlandieri* Baill., *Conostegia xalapensis* (Bonpl.) D. Don, *Ficus* spp. and *Cedrela odorata* L. are common species.

Descripción de los datos

Data description

Los datos se obtuvieron de 130 árboles procedentes de ocho predios; el número de individuos por sitio fue de 8 a 23, en

Data were taken from 130 trees from eight places; there were from 8 to 23 individuals per site, according to the facilities provided by the landowners. Before they were felled, to each

función de la facilidad otorgada por los propietarios. Antes de ser derribados, a cada ejemplar se le midió el diámetro normal (D) a 1.30 m con una cinta diamétrica; después de dicha operación se registró la longitud del fuste desde el tocón hasta el ápice con una cinta métrica de 20 m; se tomaron los diámetros con corteza al ras del suelo, a la altura del tocón y a intervalos de 1.25 m a lo largo del fuste, hasta un diámetro superior de 8 a 10 cm. El número de mediciones por árbol varió de 8 a 21, para un total de 1,465 pares de diámetro (d) y altura (h).

Modelos seleccionados

Se utilizaron 12 modelos fustales generales para árbol individual, con base en que han sido desarrollados y aplicados en especies de latifoliadas y de coníferas (Cuadro 2). Todas las ecuaciones se expresaron en términos del diámetro (d), para evitar los errores multiplicativos que se presentan cuando se usa el diámetro relativo.

Ajuste y evaluación de los modelos

Los modelos se ajustaron por medio del método generalizado de mínimos cuadrados, mediante el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2004).

Existen diversos criterios que pueden utilizarse para evaluar y comparar los diferentes modelos seleccionados. Los más usados se basan en los valores del coeficiente de determinación (R^2) o del coeficiente de determinación ajustado (R_{aj}^2), el error cuadrático medio (ECM), el estadístico de Mallows (C_p), los criterios de información de Akaike (AIC) y bayesiano de Schwarz (SBC), así como en la suma de cuadrados del error de predicción (PRESS) (Montgomery y Runger, 2003; Kutner *et al.*, 2005; Walpole *et al.*, 2006). En la evaluación de modelos volumétricos, también se incluyen los criterios del sesgo promedio, el sesgo absoluto promedio, el error estándar del estimado y el índice de condición (Kozak y Kozak, 2003; Rodríguez y Molina; 2003; Rojo *et al.*, 2005; Barrio Anta *et al.*, 2007; Pompa-García *et al.*, 2009b). Los inconvenientes más importantes que se relacionan con el ajuste de modelos volumétricos son la colinealidad, la heterocedasticidad y la autocorrelación (Kozak, 1997), por lo cual se debe incluir su análisis en la evaluación de los modelos.

individual was measured normal diameter (D) at 1.30 m with a diametric tape; afterwards, the stem length from the stump to the apex with a 20 m metric tape was put into record; later the unbarked diameters to the ground up to the stump and at 1.25 m intervals along the stem were taken up to a superior diameter of 8 to 10 cm. The number of measurements per tree varied from 8 to 21, for a total of 1,465 pairs of diameter (d) and height (h).

Selected models

Twelve taper general models were used per individual tree, based upon their having been developed and applied in broadleaved and conifers species (Table 2). All the equations were expressed in terms of diameter (d) to avoid multiplying errors that appear when the relative diameter is used.

Fitness and models assessment

Models were fitted through the generalized least squares method by the NLIN procedure of the SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2004).

There are several criteria that may be used to assess and compare the different selected methods. The most common are based in the values of the determination coefficient (R^2) or of the adjusted coefficient of determination (R_{aj}^2), the mean squared error (MSE), Mallows C_p statistic, Akaike information criterion (AIC) and Schwarz Bayesian criterion (SBC) as well as the sum of squares of the prediction error (PRESS) (Montgomery and Runger, 2003; Kutner *et al.*, 2005; Walpole *et al.*, 2006). In the assessment of taper models, are also included the criteria of average bias, the average absolute bias, the estimated standard deviation and the condition index (Kozak and Kozak, 2003; Rodríguez and Molina; 2003; Rojo *et al.*, 2005; Barrio Anta *et al.*, 2007; Pompa-García *et al.*, 2009b). The most important inconvenient facts that are related with the fitness of taper models are collineality, heterocedasticity and auto correlation (Kozak, 1997), which makes it necessary to include the analysis in the assessment of the models.

In this study, the assessment of the goodness of fit of the models was accomplished by comparing the most frequently used criteria for taper models, which are: standard error of the estimate, fitted coefficient of determination, average bias, Akaike information criterion and sum of squares of the prediction (Table 2). For the collineality, heterocedasticity and auto correlation analysis were used the condition index values (Rawlings *et al.*, 1998), the White test (White, 1980) and the Durbin and Watson statistic (DW) (Durbin and Watson, 1951). Also a graphic analysis of residual values was carried out to detect abnormal behaviours.

Cuadro 1. Modelos volumétricos seleccionados.
Table 1. Selected taper models.

No.	Autor	Modelo
1	Bruce <i>et al.</i> (1968)	$d = D \left(\frac{\beta_0 X^{1.5}}{10} + \frac{\beta_1 (X^{1.5} - X^3) D}{10^2} + \frac{\beta_2 (X^{1.5} - X^3) H}{10^3} + \frac{\beta_3 (X^{1.5} - X^{3.2}) H D}{10^5} + \frac{\beta_4 (X^{1.5} - X^{3.2}) \sqrt{H}}{10^3} + \frac{\beta_5 (X^{1.5} - X^{4.0}) H^2}{10^6} \right)^{0.5}$ <p>X = [H - h]/[H - 1.3]</p>
2	Bennet y Swindel (1972)	$d = D \left(\beta_0 \frac{(H-h)}{(H-1.3)} + \frac{\beta_1 (H-h)(H-1.3)}{D} + \frac{\beta_2 (H-h)(H-1.3)H}{D} + \frac{\beta_3 (H-h)(H-1.3)(H+h+1.3)}{D} \right)$
3	Demaerschalk (1973)	$d = D \left(\beta_0 \left(\frac{1}{D^2 H} \right) \left(\frac{H-h}{H} \right)^{\beta_1} + \beta_2 \left(\frac{H-h}{H} \right)^{\beta_3} \right)^{0.5}$
4	Reed and Green (1984)	$d = D (\beta_1 (1 - q)^{\beta_2})^{0.5}$
5	Biging (1984)	$d = D \left[\beta_0 + \beta_1 \ln \left[1 - q^{1/3} \left(1 - \exp \left(- \frac{\beta_0}{\beta_1} \right) \right) \right] \right]$ <p>$d = \beta_0 D^{\beta_1} \beta_2^{\beta_1} X^{\beta_3 q + \beta_4 \ln(q + 0.001) + \beta_5 q^{0.5} + \beta_6 \exp(q) + \beta_7 (D/H)}$</p>
6	Kozak (1988)	<p>X = [1 - q^{1/2}]/[1 - 0.25^{1/2}]</p>
7	Thomas y Parresol (1991)	$d = D \left[\beta_0 (q - 1) + \beta_1 \sin(\beta_2 \pi q) + \beta_3 \cotan \left(\frac{\pi q}{2} \right) \right]^{0.5}$
8	Renteria (1995)	$d = D \left[\beta_0 \left(\frac{H-h}{H} \right) + \beta_1 \left(\frac{H-h}{H} \right)^2 + \beta_2 \left(\frac{H-h}{H} \right)^3 \right]^{0.5}$
9	Muhairwe (1999)	$d = \beta_0 D^{\beta_1} \left[1 - \sqrt{q} \right] \left(\beta_2 q + \beta_3 q^2 + \frac{\beta_4}{q} + \beta_5 q^3 + \beta_6 D + \beta_7 D/H \right)$
10	Bi (2000)	$d = D \left[\frac{\ln \sin \left(\frac{\pi q}{2} \right)}{\ln \sin \left(\frac{\pi 1.3}{2 H} \right)} \right]^{\beta_0 + \beta_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} q \right) + \beta_2 \cos \left(\frac{3\pi}{2} q \right) + \beta_3 \left(\frac{\sin \left(\frac{\pi}{2} q \right)}{q} \right) + \beta_4 D + \beta_5 q \sqrt{D} + \beta_6 \sqrt{H}}$
11	Kozak (2004)	<p>Donde: X = [1 - q^{1/3}]/[1 - (1.3/H)^{1/3}] Q = 1 - q^{1/3}</p> $d = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} X^{\beta_3 q^4 + \beta_4 \left[\frac{1}{e^{D/H}} \right] + \beta_5 X^{0.1} + \beta_6 [1/\rho] + \beta_7 H^Q + \beta_8 X}$
12	Silva <i>et al.</i> (2006)	<p>z = [H - h]/[H - 1.3]</p> $d = D [\beta_0 z^2 + \beta_1 z^3 + \beta_2 z^4]^{0.5}$

D=diámetro normal con corteza (cm); d=diámetro con corteza a la altura h (cm); H=altura total del árbol (m); h=altura desde la base hasta el diámetro d (m); α_i, β_i = coeficientes a ser determinados; q = (h/H).

D= normal diameter with bark (cm); d=diameter with bark at h height (cm); H= total height of the tree (m); h=height from the base to the d diameter (m); α_i, β_i = coefficients to be determined; q =(h/H).

En este trabajo, la evaluación de la bondad de ajuste de los modelos se realizó comparando los criterios estadísticos más frecuentemente utilizados para modelos volumétricos, los cuáles son: error estándar del estimado, coeficiente de determinación ajustado, sesgo promedio, sesgo absoluto promedio, criterio de información de Akaike y suma de cuadrados el error de predicción (Cuadro 2). Para el análisis de colinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación se usaron los valores del índice de condición (Rawlings *et al.*, 1998), la prueba de White (White, 1980) y el estadístico de Durbin y Watson (DW) (Durbin y Watson, 1951), respectivamente. Así mismo se llevó a cabo el análisis de gráfico de los valores residuales para detectar comportamientos anormales.

Cuadro 2. Criterios para evaluar la bondad de ajuste de los modelos.
Table 2. Criteria to assess the goodness of fit of the models.

Criterio	Expresión
Error estándar del estimado (ESE)	$ESE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)}$
Coeficiente de determinación ajustado (R_{aj}^2)	$R_{aj}^2 = 1 - \frac{(n - 1) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{(n - p) \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$
Sesgo promedio (\bar{e})	$\bar{e} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / n$
Sesgo absoluto promedio ($ \bar{e} $)	$ \bar{e} = \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i / n$
Criterio de información de Akaike (AIC)	$AIC = n \ln \hat{\sigma}^2 + 2p - n \ln n$
Suma de cuadrados del error de predicción (PRESS)	<p>Donde: $\hat{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / n$</p> $PRESS = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{1 - h_{ii}} \right)^2$
Índice de condición (IC)	<p>Donde: $h_{ii} = x_i' (X'X)^{-1} x_i$</p> $IC = (\lambda_{max} / \lambda_{min})^{1/2}$

y=valor observado; \hat{y} = valor estimado; \bar{y} = valor promedio; n = número total de observaciones usadas para el ajuste de los modelos; p = número de parámetros del modelo; h_{ii} = varianza del valor ajustado; λ_{max} , λ_{min} = valores propios máximo y mínimo de la matriz de covarianza.
y=observed value; \hat{y} = estimated value; \bar{y} = average value; n = total number of observations used for the fitness of the models; p = number of parameters of the model ; h_{ii} = variance of the fitted value; λ_{max} , λ_{min} = maximum and minimum values of the covariance matrix.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resumen de las estadísticas descriptivas de los árboles se muestra en el Cuadro 3 y el diagrama dispersión de las alturas relativas (h/H) con respecto a los diámetros relativos se ilustran en la Figura 2.

Cuadro 3. Resumen de las estadísticas descriptivas de los árboles evaluados.
Table 3. Summary of the descriptive statistics of the assessed trees.

Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
D (cm)	130	26.37	7.62	8.60	52.40
d (cm)	1465	17.18	9.49	0.00	60.00
H (m)	130	18.78	3.85	7.20	27.20
h (m)	1465	8.18	5.70	0.10	27.20

RESULTS AND DISCUSSION

The summary of the descriptive statistics of the trees is shown in Table 3 and the dispersion diagram of the relative heights (h/H) in regard to the relative diameters is illustrated in Figure 2.

The values of the estimated parameters for each one of the fitted models, its standard error and its probability are gathered in Table 4, where it is observed that, for most of the models, the estimations of the parameters were significant at 99% of confidence. However, some show non significant estimators, as happens with those of Bennet and Swindel (1972), Muhairwe (1999), Bi (2000) and Kozak (2004).

The values of the comparison statistics for each one of the models are in Table 5. It can be appreciated that, with the exception of Rentería's model (1995), all have a good average tendency for the tapering of the tree, since they explain over 90% of the variance of the diameter. Nevertheless, when contrasting the models with their

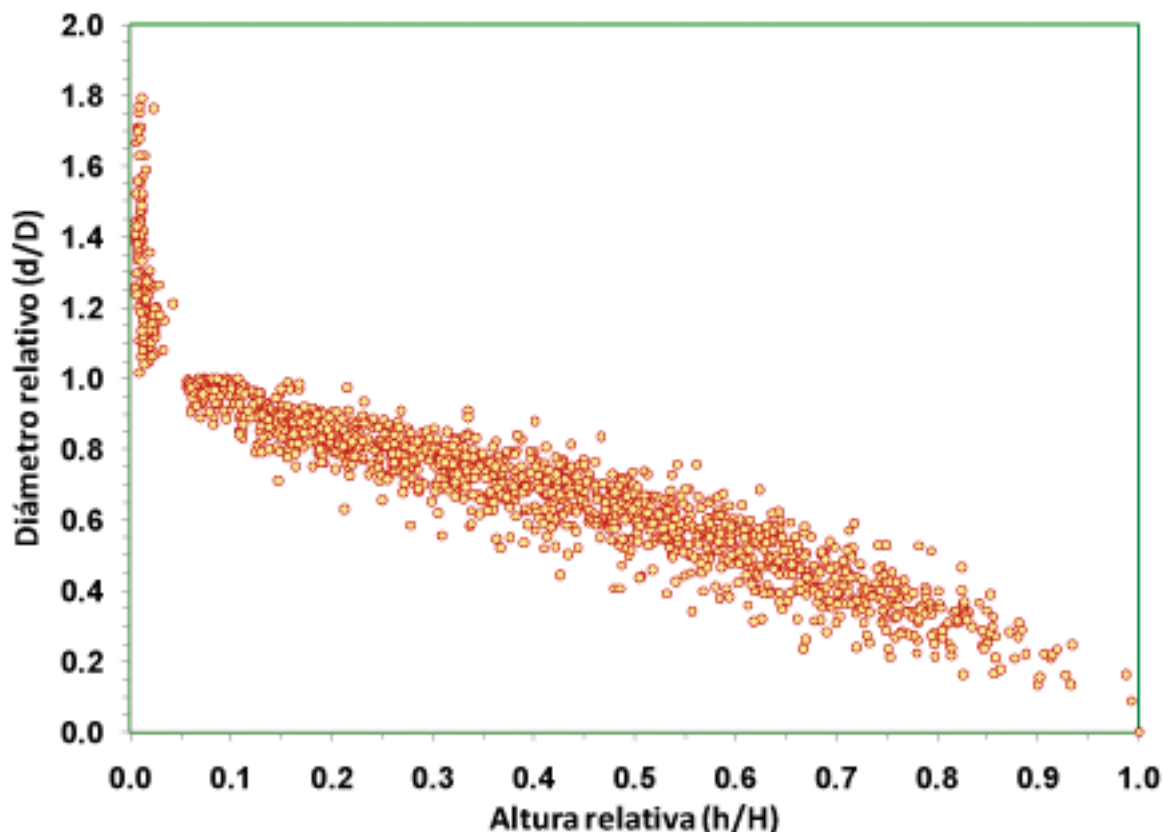


Figura 2. Dispersión de la altura relativa y el diámetro relativo.
 Figure 2. Relative height and relative diameter dispersion.

Los valores de los parámetros estimados para cada uno de los modelos ajustados, su error estándar y su probabilidad se resumen en el Cuadro 4, en él se observa que, para la mayoría de los modelos, las estimaciones de los parámetros fueron significativas al 99% de confianza. Sin embargo, algunos presentan estimadores no significativos, tal es el caso de los de Bennet y Swindel (1972), Muhairwe (1999), Bi (2000) y Kozak (2004).

Los valores de los estadísticos de comparación para cada uno de los modelos se presentan en el Cuadro 5. Se observa que, con excepción del modelo de Rentería (1995), todos representan una buena tendencia promedio del ahusamiento del árbol, ya que explican por arriba del 90% de la varianza del diámetro. No obstante, al contrastar los modelos con sus estadísticos de ajuste, el modelo (6) tuvo los mejores registros para seis de los siete criterios de comparación (ESE, R^2_{adj} , AIC, y PRESS) y para el (IC) resultaron ser los modelos (9) y (11).

adjustment statistics, model (6) had the best records for six out of the seven comparison criteria (ESE, R^2_{adj} , AIC and PRESS) and for CI, were models (9) and (11).

When considering the hierarchization of models, the best value for each criterion was selected, to which number one was given, and following a progressive order to the rest of the data. This favored the give a total grade to hierarchization of each one of the models, thus, based upon the statistical criteria that were used, the six modes with the most outstanding grades were (1), (6), (7), (9), (10) y (11), which are corresponding to the models of Bruce *et al.* (1968), Kozak (1988), Thomas and Parresol (1991), Muhairwe (1999), Bi (2000) and Kozak (2004), respectively. Even when the Kozak model (1988) had the highest number, the final discrimination of these models was done from the graphic residual analysis and the absolute average bias, as well as from the colineality, heterocedasticity and autocorrelation tests.

The presence of multicolineality in the models may have serious effects upon the general applicability of the model.

Cuadro 4. Valores de los parámetros estimados, errores estándar (entre paréntesis) y probabilidad (entre corchetes, $Pr > |t|$).Table 4. Values of the estimated parameters, standard errors (between brackets) and probability (between square brackets, $Pr > |t|$).

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8
(1) Bruce <i>et al.</i> (1968)	9.2426 (0.1182) [<.0001]	-0.5990 (0.1258) [<.0001]	-7.973 (2.767) [0.004]	23.796 (6.6042) [0.0003]	58.230 (9.1446) [<.0001]	-282.97 (57.090) [<.0001]			
(2) Bennet y Swindel (1972)	1.046 (0.0046) [<.0001]	0.016 (0.0070) [0.0265]	-0.665 (0.2841) [0.0194]	0.407 (0.1862) [0.0288]					
(3) Demaerschalk (1973)	29985.20 (2050.4) [<.0001]	111.42 (5.728) [<.0001]	0.990 (0.0096) [<.0001]	1.507 (0.0192) [<.0001]					
(4) Reed and Green (1984)	1.6998 (0.0411) [<.0001]	0.1699 (0.0098) [<.0001]							
(5) Biging (1984)	1.2798 (0.0078) [<.0001]	0.5630 (0.0119) [<.0001]							
(6) Kozak (1988)	0.912 (0.0928) [<.0001]	1.020 (0.0427) [<.0001]	0.993 (0.0014) [<.0001]	1.277 (0.1408) [<.0001]	-0.373 (0.0328) [<.0001]	2.735 (0.3663) [<.0001]	-1.357 (0.1905) [<.0001]	0.179 (0.0163) [<.0001]	
(7) Thomas y Parresol (1991)	-0.8295 (0.011) [<.0001]	0.1226 (0.0046) [<.0001]	0.7678 (0.0431) [<.0001]	0.0583 (0.0019) [<.0001]					
(8) Renteria (1995)	0.823 (0.0462) [<.0001]	-1.307 (0.1546) [<.0001]	1.805 (0.1209) [<.0001]						
(9) Muhairwe (1999)	1.146 (0.053) [<.0001]	0.924 (0.0147) [<.0001]	0.546 (0.1443) [0.0002]	-0.338 (0.3655) [0.3558]	-0.037 (0.0013) [<.0001]	0.167 (0.2638) [0.5277]	0.004 (0.0008) [<.0001]	0.063 (0.0149) [<.0001]	
(10) Bi (2000)	1.804 (0.1196) [<.0001]	-0.734 (0.0679) [<.0001]	-0.126 (0.0144) [<.0001]	-0.806 (0.0744) [<.0001]	0.001 (0.0006) [0.0893]	0.101 (0.0148) [<.0001]	-0.115 (0.0121) [<.0001]		
(11) Kozak (2004)	1.304 (0.0683) [<.0001]	0.884 (0.0145) [<.0001]	0.042 (0.024) [0.0801]	0.593 (0.0412) [<.0001]	-0.774 (0.1095) [<.0001]	-1.627 (0.2106) [<.0001]	-2.771 (0.7081) [<.0001]	-0.110 (0.014) [<.0001]	1.267 (0.1464) [<.0001]
(12) Silva <i>et al.</i> (2006)	3.581 (0.0986) [<.0001]	-6.809 (0.2623) [<.0001]	4.344 (0.1691) [<.0001]						

Cuadro 5. Valores de los estadísticos para evaluar la bondad de ajuste.
Table 5. Statistic values to assess the goodness of fit.

MODELO	NP	ESE	R ² _{adj}		AIC	PRESS	IC	Cal.	
(1) Bruce <i>et al.</i> (1968)	6	2.0896 (5)	0.9371 (5)	0.2287 (8)	1.4649 (5)	2165.34 (5)	6528.71 (5)	66.49 (6)	39
(2) Bennet y Swindel (1972)	4	2.5179 (11)	0.9087 (11)	0.1490 (5)	1.7379 (10)	2709.57 (11)	9338.82 (11)	220.95 (12)	71
(3) Demaerschalk (1973)	4	2.2052 (7)	0.9300 (7)	0.2112 (7)	1.5486 (7)	2321.05 (7)	7238.98 (7)	4.51 (1)	43
(4) Reed and Green (1984)	2	2.2736 (8)	0.9256 (8)	0.3126 (11)	1.6445 (8)	2408.57 (8)	7614.47 (8)	16.51 (4)	55
(5) Biging (1984)	2	2.5153 (10)	0.9089 (10)	0.3525 (12)	1.7398 (11)	2704.57 (10)	9303.79 (10)	4.81 (2)	65
(6) Kozak (1988)	8	1.8144 (1)	0.9526 (1)	-0.0021 (1)	1.2361 (1)	1753.57 (1)	4904.95 (1)	167.97 (10)	16
(7) Thomas y Parresol (1991)	4	2.1517 (6)	0.9333 (6)	0.2692 (10)	1.5152 (6)	2249.12 (6)	6849.72 (6)	7.33 (3)	43
(8) Renteria (1995)	3	2.6634 (12)	0.8979 (12)	0.2426 (9)	1.8592 (12)	2873.18 (12)	10440.21 (12)	38.28 (5)	74
(9) Muhairwe (1999)	8	1.8738 (2)	0.9494 (2)	-0.0076 (3)	1.2698 (2)	1847.87 (2)	5239.90 (2)	134.09 (9)	22
(10) Bi (2000)	7	1.8826 (3)	0.9490 (3)	-0.0428 (4)	1.2841 (3)	1860.68 (3)	5263.25 (3)	205.96 (11)	30
(11) Kozak (2004)	9	1.9150 (4)	0.9472 (4)	0.0059 (2)	1.3295 (4)	1912.62 (4)	5467.54 (4)	110.67 (8)	30
(12) Silva <i>et al.</i> (2006)	3	2.4104 (9)	0.916 (9)	0.1715 (6)	1.7181 (9)	2580.73 (9)	8554.97 (9)	70.86 (7)	58

NP = número de parámetros; Cal.= Calificación total de jerarquización. Los números entre paréntesis indican la jerarquización del modelo para cada uno de los criterios.
NP = number of parameters; Cal.= Total hierarchization evaluation. The numbers in brackets mean the hierarchization of the model for each one of the criteria.

Al considerar la jerarquización de los modelos, se tomó el mejor valor para cada criterio, asignándole el número uno y después en orden progresivo al resto de los datos. Esto permitió darle una calificación total de jerarquización a cada uno de los modelos, por lo que, con base en los criterios estadísticos usados, los seis modelos con las calificaciones más destacadas fueron el (1), (6), (7), (9), (10) y (11) que corresponden a los modelos de Bruce *et al.* (1968), Kozak (1988), Thomas y Parresol (1991), Muhairwe (1999), Bi (2000) y Kozak (2004), respectivamente. Aun cuando al modelo de Kozak (1988) le correspondió la nota más alta, la discriminación final de estos

The values of the condition index between 30 and 100 mean that there is a moderate colineality, while numbers above 100 make evident that there is an almost linear dependency among the regression variables (Rawlings *et al.*, 1998); thus, the colineality of the models is strong. According to the obtained values of the condition index (Table 5), the Thomas and Parresol model (1991) does not have colineality, while for the Bruce *et al.* (1968) model it is moderate. For the rest of the models, the condition index is over 100, which means that there is a very strong colineality among the variables that were used to fit the regression equations.

modelos se hizo a partir del análisis gráfico de residuales y el sesgo absoluto promedio, así como de las pruebas de colinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación.

La presencia de multicolinealidad en los modelos puede tener efectos serios sobre la aplicabilidad general del modelo. Los valores del índice de condición entre 30 y 100 indican que existe una colinealidad moderada, mientras que las cifras por arriba de 100 evidencian que existe una dependencia casi lineal entre las variables de regresión (Rawlings *et al.*, 1998), por lo cual la colinealidad de los modelos es fuerte. De acuerdo con los valores de índice de condición obtenidos (Cuadro 5), el modelo de Thomas y Parresol (1991) no presenta colinealidad; mientras que para el modelo de Bruce *et al.* (1968) es moderada. En el resto de los modelos, el índice de condición es mayor a 100 lo que indica una colinealidad muy fuerte entre las variables usadas para ajustar las ecuaciones de regresión.

La dispersión de los residuos estandarizados, respecto a los valores estimados de diámetro con corteza (d) de los mejores seis modelos (Figura 3) muestran que la presencia de heterocedasticidad debido a que la varianza de los errores es variable en las diferentes observaciones, pues aumentan conforme se incrementa el diámetro (d). La prueba de White (1980) confirma la heterocedasticidad de los residuos (Cuadro 6).

Con base en el estadístico de Durbin Watson, la autocorrelación serial de los residuos de los seis modelos fue baja (DW de 0.9779 a 1.3335). Sin embargo, la normalidad de los residuos no es satisfactoria, dado que la prueba de Kolmogorov-Smirnov señala que la probabilidad de la diferencia máxima (D), entre los valores de la distribución normal de la muestra y la distribución normal hipotética, es menor a 0.010 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadísticos de las pruebas de White para heterocedasticidad, de Durbin Watson para autocorrelación y de Kolmogorov-Smirnov para normalidad de los residuos de seis modelos.

Table 6. Statistics of the White test for heterocedasticity, of Durbin Watson for autocorrelation and of Kolmogorov-Smirnov for the normality of residuals of the six models.

Modelo	Prueba de White			Prueba de Durbin Watson (DW)	Prueba de Kolmogorov-Smirnov	
	nR ²	GL	Pr > χ^2		D	Pr > D
(6) Kozak (1988)	395.1	40	<.0001	1.2007	0.07909	<.010
(9) Muhairwe (1999)	434.5	41	<.0001	1.3335	0.08358	<.010
(10) Bi (2000)	392.4	33	<.0001	1.1174	0.07568	<.010
(11) Kozak (2004)	414.5	54	<.0001	1.1788	0.07168	<.010
(1) Bruce <i>et al.</i> (1968)	465.7	27	<.0001	0.9779	0.07933	<.010
(7) Thomas y Parresol (1991)	445.1	14	<.0001	1.3179	0.09091	<.010

n= número de observaciones; GL = grados de libertad; nR² = estadístico para la prueba de White; D = estadístico para la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

n= number of observations; GL = degrees of freedom; nR² = statistic for the White test; D = statistic for the Kolmogorov-Smirnov test.

The dispersion of the standardized residuals in regard to the estimated values of diameters with bark (d) of the best six models (Figure 3) show that the presence of heterocedasticity due to the variance of the errors varies in the different observations as they increase according to the increment of diameter (d) White (1980) test confirms the heterocedasticity of residuals (Table 6).

Based on the Durbin Watson statistic, the serial autocorrelation of the residuals of the six models was low (DW de 0.9779 a 1.3335). However, the normality of the residuals was satisfactory since the Kolmogorov-Smirnov test points out that the probability of the maximum difference (d), between the values of the normal distribution of the sample and the normal hypothetical distribution, is under 0.010 (Table 6).

Multicolineality, heterocedasticity and autocorrelation are some of the most important problems that come when models are applied to forest data (Kozak, 1997). Pink cedar is not an exception, a situation that has been observed too in other species (Rojó *et al.*, 2005; Diéguez-Aranda *et al.*, 2006; Barrio Anta *et al.*, 2007). This makes the models that are used inefficient, even when the coefficients of the regression estimators are unbiased and consistent.

The use of complicated models with crossed variables is part of the origin of multicolineality since they cause a high dependence among the independent variables in the multiple regression, and some of them are or measure a similar event (Montgomery and Runger, 2003). For this reason it is advised to choose models with a low or less severe multicolineality, as far as possible (Kozak, 1997; Diéguez-Aranda *et al.*, 2006). However, since multicolineality affects, mainly the stability of the regression coefficients, it is advisable, too, to make the

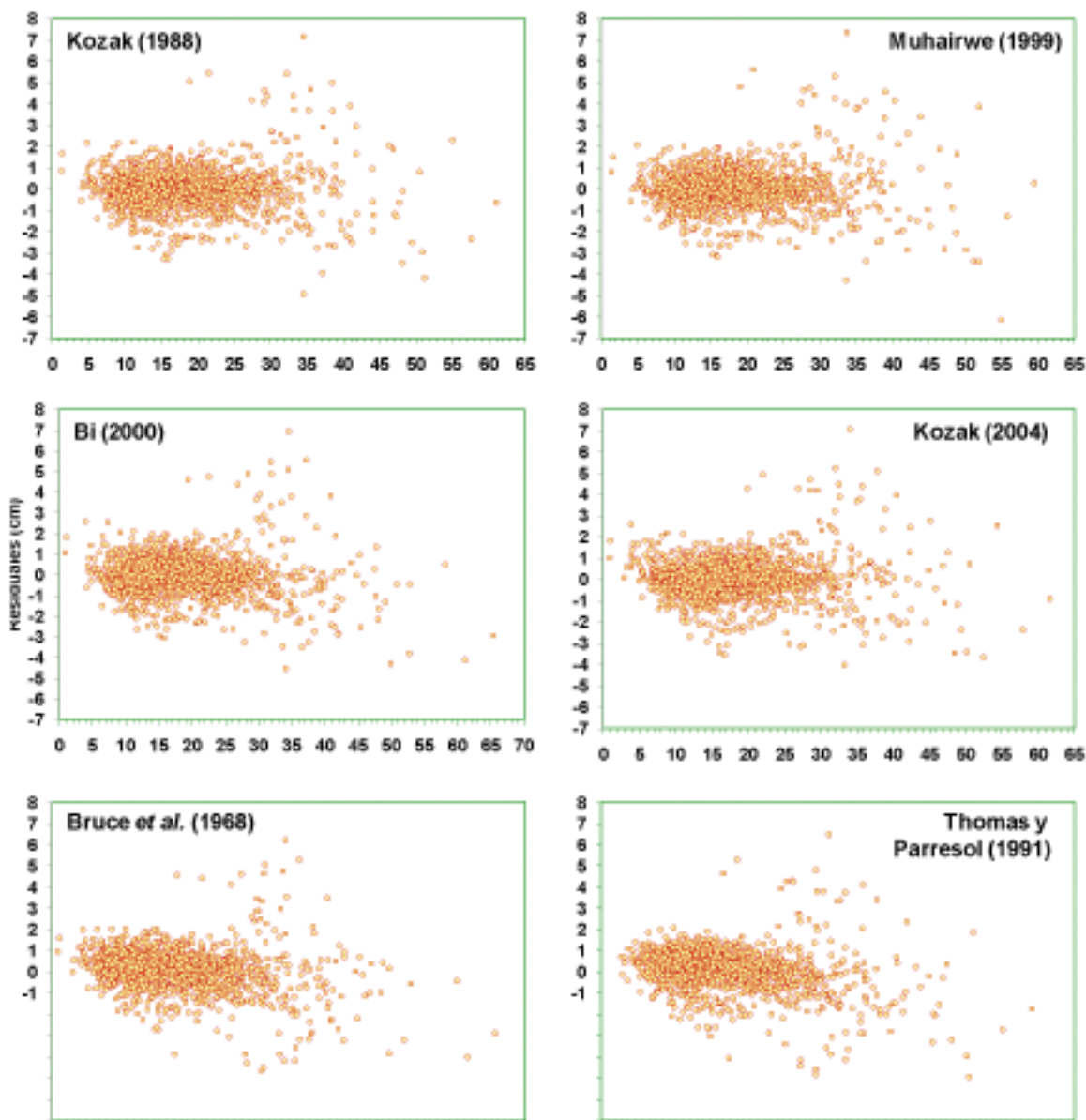


Figura 3. Dispersión de residuos con respecto a los valores estimados de diámetro (d) de seis modelos fustales.
 Figure 3. Dispersion of residuals compared to the estimated values of diameter (d) of six taper models.

La multicolinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación son de los problemas más importantes que se presentan en la aplicación de modelos a diferentes datos forestales (Kozak, 1997). El cedro rosado no es la excepción, situación que también ha sido observada en otras especies (Rojo *et al.*, 2005; Diéguez-Aranda *et al.*, 2006; Barrio Anta *et al.*, 2007). Esto ocasiona que los modelos usados no sean eficientes, aún cuando los coeficientes de los estimadores de regresión sean insesgados y consistentes.

El uso de modelos complicados y con variables cruzadas es parte del origen de la multicolinealidad debido a que causan

estimation of these parameters by any alternative method from the ordinary least squares, such as the ridge regression (Kutner *et al.*, 2005).

The description of tree tapering demands getting diameter measurements at different heights of one same individual, which means that the diameter observations are spatially correlated. The simulation technique of the expansion of the end of error by autoregressive models has been used in several works to correct autocorrelation (Rodríguez and Molina, 2003; Rojo *et al.*, 2005; Barrio Anta *et al.*, 2007; Younger *et al.*, 2008; Pompa-García *et al.*, 2009b). However, this

una dependencia alta entre las variables independientes en la regresión múltiple, y algunas de ellas representan o miden un evento similar (Montgomery y Runger, 2003). Por esta razón, se recomienda seleccionar modelos con multicolinealidad baja o menos severa, en la medida de lo posible (Kozak, 1997; Diéguez-Aranda *et al.*, 2006). Aunque, dado que la multicolinealidad afecta principalmente a la estabilidad de los coeficientes de regresión, también es recomendable realizar la estimación de estos parámetros por algún método alternativo al de mínimos cuadrados ordinarios, como el de la regresión contraída (Kutner *et al.*, 2005).

La descripción de ahusamiento de los árboles requiere de la obtención de mediciones de los diámetros a diferentes alturas en un mismo individuo, por lo que las observaciones del diámetro están espacialmente correlacionadas. La técnica de simulación de expansión del término del error mediante modelos autoregresivos ha sido empleada en diversos trabajos para corregir la autocorrelación (Rodríguez y Molina, 2003; Rojo *et al.*, 2005; Barrio Anta *et al.*, 2007; Younger *et al.*, 2008; Pompa-García *et al.*, 2009b). Sin embargo, esta técnica sólo se usa para mejorar la interpretación de las propiedades estadísticas de los modelos, pero no tiene aplicación práctica (Rojo *et al.*, 2005; Pompa-García *et al.*, 2009b). El problema de autocorrelación serial de los residuos puede solucionarse a través de la transformación de las variables por medio de los procedimientos de Cochrane-Orcutt, Hildreth-Lu o la diferencia primaria (Kutner *et al.*, 2005), recomendándose utilizar los tres métodos y seleccionar el más efectivo para solucionar la autocorrelación.

Cuando los errores no son consistentes, es factible usar la regresión ponderada para corregir este problema, la cual consiste en ponderar cada observación por el valor inverso de su varianza (σ^2) en el proceso de ajuste de los modelos (Kutner *et al.*, 2005). Si no se conoce la varianza, el valor de ponderación adecuado de cada observación se estima mediante un proceso de regresión basado en la aserción de que $s_i^2 = e_i^2$. Primero se realiza la regresión de los datos y después una regresión separada con todos los valores en el modelo con $e_i^2 = y_i$. Los valores de ponderación serán $w_i = 1/s_i^2 = 1/e_i^2$. Esta técnica ha sido aplicada por Diéguez-Aranda (2006) y Barrio Anta *et al.* (2007) para solucionar el problema de heterocedasticidad de los modelos fustales.

Para los datos de cedro rosado, se aplicó una regresión ponderada, en la que se consideró $w_i = 1/e_i^2$, para hacer menos variables los errores de predicción. Los resultados los valores se consignan en el Cuadro 7.

A partir de los factores analizados, sólo el modelo Thomas y Parresol (1991) no presenta multicolinealidad y los seis modelos muestran heterocedasticidad y autocorrelación. El modelo de Kozak (1988) explica más del 95% de la varianza total del diámetro (d), presenta el menor sesgo absoluto promedio, pero

technique is only used to improve the interpretation of the statistical abilities of models, but does not have a practical application (Rojo *et al.*, 2005; Pompa-García *et al.*, 2009b). The residual autocorrelation serial problem may be solved through the transformation of the variables by means of the Cochrane-Orcutt estimation, the Hildreth-Lu procedure or by primary difference (Kutner *et al.*, 2005), but the use of the three methods is advisable in order to select the best that can solve the autocorrelation.

When errors are not consistent, it is possible to use pondered regression to correct this problem, which consists in weighting each observation for the inverse value of the variance (σ^2) in the fitting process of the models (Kutner *et al.*, 2005). If the variance is unknown the right weighting value for each observation is estimated by a regression process based on the assertion that $s_i^2 = e_i^2$. First the data regression is accomplished and afterwards, a separate regression with all the values in the model with $e_i^2 = y_i$. The weighting values will be $w_i = 1/s_i^2 = 1/e_i^2$. This technique has been used by Diéguez-Aranda (2006) and by Barrio Anta *et al.* (2007) to solve the heterocedasticity problems of taper models

A pondered regression was applied to the pink cedar data in which it was considered $w_i = 1/e_i^2$, to lessen the variability of the prediction errors. Results are gathered in Table 7.

From the analyzed factors, only the Thomas y Parresol (1991) model does not show multicolineality and the six show heterocedasticity and autocorrelation. The Kozak model (1988) explains more than 95% of the total variance of the diameter (d), has a lower average absolute bias, but has the problem of showing a very strong colineality that can affect the estimation efficiency. In contrast, the Thomas and Parresol model (1991) did not exhibit colineality, but the explanation of the total variance of the diameter diminishes to 1.93% in regard to the Kozak model (1988).

The accuracy of the estimation of the diameter (d) of the Kozak (1988) and the Thomas and Parresol (1991) models, both with their outlined limitations, is different for each model (Figure 4). The fist one tends to underestimate the diameter of the lower, middle and high part of the stem, particularly the relative height of 0.9l, while the Thomas and Parresol model (1991), underestimates the diameter all along the stem. When the weighted fit of the Thomas and Parresol model (1991) is made, the underestimation of the diameter is reduced in 0.5, 0.3, 0.4, 0.5 and 0.6 relative heights, being more pronounced from 0.7 to 0.9. The average bias is reduced from 0.2692 cm to 0.0072 cm and the determination (R^2) index increases from 93.33 to 95.80, being better to that of the Kozak model (1988) of 95.26.

Considering the discussed results and the advice of Kozak (1997) and Diéguez-Aranda *et al.*, (2006) of selecting the

tiene el inconveniente de mostrar una colinealidad muy fuerte que puede afectar la eficiencia de estimación. En contraste, el modelo Thomas y Parresol (1991) no mostró el problema de colinealidad, pero la explicación de la varianza total del diámetro disminuye 1.93% con respecto al modelo de Kozak (1988).

La precisión de la estimación de diámetro (d) de los modelos Kozak (1988) y Thomas y Parresol (1991), ambos con sus limitaciones señaladas, es diferente para cada modelo (Figura 4). El primero tiende a subestimar el diámetro en la parte baja, media y alta del fuste, sobre todo a la altura relativa de 0.9; mientras que el modelo de Thomas y Parresol (1991) subestima el diámetro a todo lo largo del fuste. Al realizar el ajuste ponderado del modelo de Thomas y Parresol (1991), la subestimación del diámetro se reduce en las altura relativas de 0.5, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6, pero tiende a sobreestimar los valores en el resto de las alturas relativas, siendo mayor de 0.7 a 0.9. El sesgo promedio se reduce de 0.2692 cm a 0.0072 cm y se aumenta el coeficiente de determinación (R^2) de 93.33 a 95.80, siendo un poco mejor al que presenta el modelo de Kozak (1988) de 95.26.

Cuadro 7. Valores para la evaluación de bondad de ajuste del modelo de Thomas y Parresol (1991) ponderado.
Table 7. Values for the goodness of fit of the pondered Thomas and Parresol (1991) model.

β_0	β_1	β_2	β_3	ESE	0.9378
-0.8243	0.1351	0.7365	0.0616	R^2_{adj}	0.9580
(0.0107)	(0.0038)	(0.0256)	(0.0031)	*	0.0072
[<.0001]	[<.0001]	[<.0001]	[<.0001]	IC	9.83

A partir de los factores analizados, sólo el modelo Thomas y Parresol (1991) no presenta multicolinealidad y los seis modelos muestran heterocedasticidad y autocorrelación. El modelo de Kozak (1988) explica más del 95% de la varianza total del diámetro (d), presenta el menor sesgo absoluto promedio, pero tiene el inconveniente de mostrar una colinealidad muy fuerte que puede afectar la eficiencia de estimación. En contraste, el modelo Thomas y Parresol (1991) no mostró el problema de colinealidad, pero la explicación de la varianza total del diámetro disminuye 1.93% con respecto al modelo de Kozak (1988).

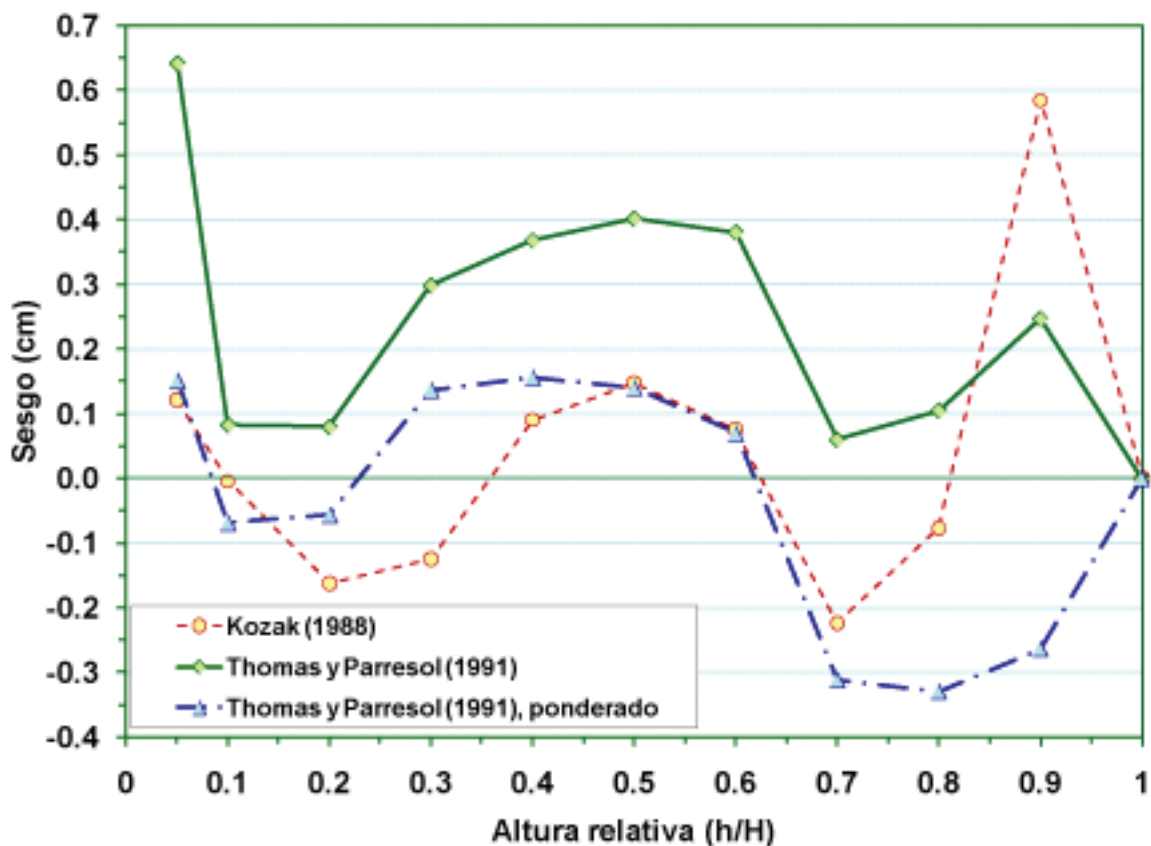


Figura 4. Sesgo para la altura relativa de los modelos de Kozak (1988) y Thomas y Parresol (1991).
Figure 4. Bias for the relative height of the Kozak (1988) and the Thomas and Parresol (1991) models.

Considerando los resultados discutidos y la recomendación señalada por Kozak (1997) y Diéguez-Aranda *et al.*, (2006) de seleccionar el modelo con baja colinealidad, el modelo de Thomas y Parresol (1991) es el más adecuado para describir el ahusamiento del fuste de los árboles de cedro rosado, que aplicando una regresión ponderada, mejora la explicación de la varianza del diámetro (d). Por lo tanto, el modelo ajustado ponderado es:

$$d = D \left[-0.8243(q - 1) + 0.1351 \operatorname{sen}((0.7365)\pi q) + 0.0616 \operatorname{colum} \left(\frac{\pi q}{2} \right) \right]^{0.5}$$

Para el desarrollo de la ecuación de volumen es necesario integrar el modelo para obtener una altura inversa generalizada. De acuerdo con Thomas y Parresol (1991), la integración del modelo es:

$$\hat{v} = k D^2 H \left\{ \frac{-0.8243}{2} (q_u^2 - q_l^2) - (-0.8243)(q_u - q_l) - \frac{0.1351}{0.7365\pi} [\cos((0.7365)\pi q_u) - \cos((0.7365)\pi q_l)] + \frac{2(0.0616)}{\pi} \left(\frac{\operatorname{sen}(\pi q_u/2)}{\operatorname{sen}(\pi q_l/2)} \right) \right\}$$

Donde:

$$k = \pi/40000$$

$$q_l = h_l/H$$

$$q_u = h_u/H$$

H_l = límite de altura inferior

H_u = límite de altura superior

H = altura total

D = diámetro normal

Por lo tanto, la ecuación anterior se puede usar para estimar el volumen fustal total y comercial de cedro rosado de las plantaciones agroforestales de la Sierra Norte de Puebla.

CONCLUSIONES

Entre los 12 modelos fustales evaluados para describir el ahusamiento de árboles de las plantaciones agroforestales de la Sierra Norte de Puebla, seis de ellos presentaron la mejor calificación en términos de los estadísticos utilizados para valorar su bondad de ajuste. De los seis, la mejor calificación fue para el modelo de Kozak (1988), pero presentó problemas de multicolinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación, mientras que el de Thomas y Parresol (1991) solo de heterocedasticidad y autocorrelación.

Para solucionar la heterocedasticidad del modelo de Thomas y Parresol (1991), se ajustó el modelo nuevamente mediante la técnica de regresión ponderada, la cual disminuyó el sesgo promedio y aumentó la capacidad de predicción del diámetro (d) a lo largo del fuste; por ello, fue seleccionado

model with a low colineality, the Thomas and Parresol (1991) is the most convenient to describe the stem taper of the pink cedar trees, rather than applying a pondered regression, since it improves the explanation of the variance of the diameter (d). Thus, the weighted fitted model is:

$$d = D \left[-0.8243(q - 1) + 0.1351 \operatorname{sen}((0.7365)\pi q) + 0.0616 \operatorname{colum} \left(\frac{\pi q}{2} \right) \right]^{0.5}$$

For the development of the volume equation, it is necessary to integrate the model to obtain a generalized inverse height. According to Thomas and Parresol (1991), the integration of the model is:

$$\hat{v} = k D^2 H \left\{ \frac{-0.8243}{2} (q_u^2 - q_l^2) - (-0.8243)(q_u - q_l) - \frac{0.1351}{0.7365\pi} [\cos((0.7365)\pi q_u) - \cos((0.7365)\pi q_l)] + \frac{2(0.0616)}{\pi} \left(\frac{\operatorname{sen}(\pi q_u/2)}{\operatorname{sen}(\pi q_l/2)} \right) \right\}$$

Where:

$$k = \pi/40000$$

$$q_l = h_l/H$$

$$q_u = h_u/H$$

H_l = low height limit

H_u = upper height limit

H = total height

D = normal diameter

Thus, the previous equation may be used to estimate the total stem and the commercial volume of pink cedar of the agroforestry plantations of the Northern Mountain Range of Puebla State.

CONCLUSIONS

Among the 12 stem models that were assessed to describe the taper of the trees from the agroforestry plantations of the Northern Mountain Chain of Puebla State, six of them showed the best grade in terms of the statistics used to evaluate the goodness of fit. Of the six, the best grade was for the Kozak (1988) model, which showed multicolineality, heterocedasticity and autocorrelation problems, while the Thomas and Parresol (1991), only of heterocedasticity and autocorrelation.

To solve the heterocedasticity of the Thomas and Parresol (1991) model, the model was fitted once more through the pondered regression technique, which diminishes the average bias and increases the diameter (d) along the stem prediction ability; so, it was selected to estimate the diameter at any height of the stem of pink cedar.

para estimar el diámetro a cualquier altura del fuste de los árboles de cedro rosado.

El modelo Thomas y Parresol (1991) ponderado se integró para estimar el volumen total y comercial a partir del diámetro normal (D), la altura total (H) y las alturas inferior (h_1) y superior (h_2).

El modelo fustal determinado en el presente estudio es esencial como herramienta para la aplicación en los estudios de manejo de las plantaciones agroforestales de cedro rosado de la región.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT a través del proyecto CO1-6077 "Estimación de la productividad y potencial tecnológico del cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*), en el estado de Puebla". También se agradece el apoyo brindado por los productores de la Sociedad "Agroforestales Teponaxtle S.P.R. de R.L." Asociación Regional de Silvicultores "Maderas Tropicales" A. C. de Xicotepéc, Puebla, para el derribo de árboles y la toma de datos.

REFERENCIAS

Barrio Anta, M., U. Diéguez-Aranda, F. Castedo-Dorado, J. G. Álvarez González and K. Von Gadow. 2007. Merchantable volume system for pedunculate oak in Northwestern Spain. *Ann. For. Sci.* 64: 511-520.

Bennett, F. A. and B. F. Swindel. 1972. Taper curves for planted slash pine. Res. Note SE-179. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC. USA. 4 p.

Bi, H. 2000. Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalyptus. *For. Sci.* 46(3): 397-409.

Biging, G. 1984. Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *For. Sci.* 30(4): 1103-1117.

Bruce, R., L. Curtiss and C. Vancoevering. 1968. Development of a system of taper and volume tables for red alder. *For. Sci.* 14(3): 339 - 350.

Cedeño S., O. 1985. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn., especie promisor para plantaciones forestales en el trópico húmedo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Publ. Esp. No. 48. México, D. F. México. pp. 561-566.

Centre for Agricultural Bioscience (CAB). 2005. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. Forestry compendium. <http://www.cabicompendium.org> (17 de enero de 2005).

Chavelas P., J. 1985. Estudios preliminares con *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Publ. Esp. No. 48. México, D. F. México. pp. 204-218.

Clutter, J. L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *For. Sci.* 26(1): 117-120.

Comisión Nacional Forestal. CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2006. Programa de plantaciones comerciales, superficies establecidas. PRODEFOR. http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/prodeplan. (4 de diciembre de 2006).

Corral R., S. J. de, J. Nívar C. y F. Fernández S. 1999. Ajuste de funciones de ahusamiento a los perfiles fustales de cinco Pináceas de la región de El Salto, Durango. *Madera y Bosques* 5(2): 53-65.

Corral-Rivas, J. J., U. Diéguez-Aranda, S. Corral R. and F. Castedo D. 2007. A merchantable volume system for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forest Ecology Manage.* 238(1-3): 118 - 129.

Corral-Rivas, S. y J. de J. Nívar-Cháidez. 2009. Comparación de técnicas de estimación de volumen fustal total para cinco especies de pino de

The weighted Thomas and Parresol (1991) model was integrated to estimate the total and the commercial volume from the normal diameter (D), total height (H) and the lower (h_1) and upper heights (h_2).

The stem model that was determined in the actual study is basic as a useful tool for further studies concerning the management of regional pink cedar forestry plantations.

ACKNOWLEDGEMENTS

The actual work was sponsored by the Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT

Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 5-13.

Cruz-Cobos, F., H. M. De los Santos-Posadas y J. R. Valdez-Lazalde. 2008. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. *Agrociencia* 42(4): 473-485.

Demaerschalk, J. 1973. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Can. J. For. Res.* 3(1): 90-94.

Diéguez-Aranda, U., F. Castedo-Dorado, J. G. Álvarez- González and A. Rojo. 2006. Compatible taper function for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in northwestern Spain. *Can. J. For. Res.* 36(5): 1190-1205.

Durbin, J. and G. S. Watson. 1951. Testing for serial correlation in least squares regression. *Biometrika* 38(3-4): 159-177.

Elorza, M. P., J. M. Maruri G., Ma. L. Hernández S. y G. Olmedo P. 2006. Cultivo intercalado de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight) y su efecto sobre el contenido de materia orgánica en el suelo. *Revista Científica UDO Agrícola* 6(1): 109-113.

Epstein, R., E. Nieto, A. Weintraub, P. Chevalier and J. Gabarró. 1999. A system for the design of short term harvesting strategy. *Eur. J. Oper. Res.* 119(2): 427-439.

Fang, Z. and R. L. Bailey. 1999. Compatible volume and taper models with coefficients for tropical species on Hainan Island in Southern China. *For. Sci.* 45(1): 85-100.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2007. *Ecocrop. Acrocarpus fraxinifolius*, view crop and data sheet. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/dataSheet?id=2780> (4 de diciembre de 2007).

Ghildyal, B. N. 1989. Introduction of *Acrocarpus fraxinifolius* - a fast growing species for social forestry in Himachal Pradesh. *Indian Forester* 115(7): 455-458.

Honorato S., J. A., J. Quintanar O., J. F. C. Parraguirre L. y H. Rodríguez C. 2005. Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*): una opción agroforestal en el estado de Puebla. Folleto Técnico No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental San Martinito. Tlahuapan, Pue. México. 33 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Anuario estadístico de Puebla. Gobierno del estado de Puebla e Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://www.puebla.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=601. (22 de noviembre de 2010).

Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. *Can. J. For. Res.* 18(1): 1363 - 1368.

Kozak, A. 1997. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. *Can. J. For. Res.* 27(5): 619-629.

Kozak, A. 2004. My last words on taper equations. *For. Chron.* 80(4): 507-515.

Kozak, A. and R. Kozak. 2003. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models? *Can. J. For. Res.* 33: 976-987.

Kutner, M. H., C. J. Nachtsheim, J. Neter and W. Li. 2005. *Applied linear statistical models*. 5th ed. McGraw-Hill/Irwin. New York, NY. U S A. 1396 p.

- Lejeune, G., C.-H. Ung, M. Fortin, X. J. Guo, M.-C. Lambert and J.-C. Ruel. 2009. A simple stem taper model with mixed effects for boreal black spruce. *Eur. J. Forest. Res.* 128(5):505-513.
- Michon, G., F. M. and J. Bompard. 1986. Multistoried agroforestry garden system in West Sumatra, Indonesia. *Agroforestry Syst.* 4:315-338.
- Montgomery, D. C. and G. C. Runger. 2003. *Applied statistics and probability for engineers*. 3rd. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. 706 p.
- Muhairwe, C. K. 1999. Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the North coast in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management* 113(2-3): 251-269.
- Návar Ch., J. J. y P. A. Domínguez. 1997. Ajuste de modelos de volumen y funciones que describen el perfil diamétrico de cuatro especies de pino plantadas en el noroeste de México. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 6(1-2): 147-163.
- Negi, S. S. 2000. Indian trees and their silviculture. Vol-I. Legumes. Bishen Singh Mahendra Pal Singh, Dehra Dun, India. 192 p.
- Neil, P. E. 1990. Notes on *Acrocarpus fraxinifolius*. *Banko Janakari* 2(4): 391-394.
- Pérez C., L. D. and M. Kanninen. 2003. Provisional equations for estimating total and merchantable volume for *Tectona grandis* trees in Costa Rica. *Forests. Trees and Livelihoods* 13(4):345-359.
- Pompa G., M. y R. Solís M. 2008. Ecuación de volumen para el género *Quercus* en la región noroeste de Chihuahua, México. *Quebracho. Revista de Ciencias Forestales* 16: 84-93.
- Pompa G., M., J. J. Corral R., M. A. Díaz V. y M. Martínez S. 2009a. Función de ahusamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. en el suroeste de Chihuahua. *Cien. For. en México* 34(105): 119-136.
- Pompa-García, M., C. Hernández, J. A. Prieto-Ruiz and R. Dávalos S. 2009b. Modelación del volumen fustal de *Pinus durangensis* en Guachochi, Chihuahua, México. *Madera y Bosques* 15(1): 61-73.
- Pompa-García, M., J. J. Corral-Rivas, J. C. Hernández-Díaz and J. G. Álvarez-González. 2009c. A system for calculating the merchantable volume of oak trees in the northwest of the state of Chihuahua, Mexico. *Journal of Forestry Research* 20(4): 293-300.
- Puri, G. S. 1961. Vegetation and soil in tropical and subtropical India. In: *Proceedings of the Abidjan Symposium*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, France. pp. 93-102.
- Rawlings, J. O., S. G. Pantula and D. A. Dickey. 1998. *Applied regression analysis: a research tool*. 2nd ed. Springer-Verlag, New York, NY, USA. 658 p.
- Reed, D. and E. Green. 1984. Compatible stem taper and volume ratio equations. *For. Sci.* 30(4): 977-990.
- Rentería A., J. B. 1995. Sistema de cubicación para *Pinus cooperi* Blanco mediante ecuaciones de ahusamiento en Durango. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 77 p.
- Rodríguez, F. y C. Molina. 2003. Análisis de modelos de perfil del fuste y estudio de la cilindricidad para tres clones de chopo (*Populus x euroamericana*) en Navarra. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12(3): 73-85.
- Rojo, A., X. Perales, F. Sánchez-Rodríguez, J. G. Álvarez-González and K. von Gadow. 2005. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). *Eur. J. Forest. Res.* 124(3): 177-186.
- Silva S., L. M.; L. C. Estraviz R., J. V. Caixeta F. and S. C. Bauch. 2006. Fitting a taper function to minimize the sum of absolute deviations. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 63(5): 460-470.
- Soares, P. and M. Tomé. 2002. Height-diameter equation for first rotation eucalypt plantations in Portugal. *Forest Ecology and Management* 166 (1-3): 99-109.
- Statistical Analysis System Institute Inc. (SAS). 2004. *SAS/ETS® 9.1 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 2170 p.
- Tewari, V. P. and B. Singh. 2006. Total and merchantable wood volume equations for Eucalyptus hybrid trees in Gujarat State, India. *Arid Land Research and Management*, 20: 147-159.
- Thomas, C. E. and B. R. Parresol. 1991. Simple, flexible, trigonometric taper equations. *Can. J. For. Res.* 21(7): 1132-1137.
- Trincado, G. and H. E. Burkhart. 2006. A generalized approach for modeling and localizing stem profile curves. *For. Sci.* 52(6): 670-682.
- Walpole, R. E., R. H. Myers, S. L. Myers and K. Ye. 2006. *Probability and statistics for engineers and scientists*. 8th edition. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 848 p.
- White, H. 1980. A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica* 48 (4): 817-838.
- Younger, N. L., H. Temesgen and S. M. Garber. 2008. Taper and volume responses of Douglas-fir to sulfur treatments for control of Swiss needle cast in the Coast Range of Oregon. *West. J. Appl. For.* 23(3): 142-148.



José Villanueva Díaz (2007). Vista de paraje de *Pinus hartwegii*. Algunos árboles en este paraje superan los 400 años de edad.

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BOSQUES DEL SUR DE NUEVO LEÓN

CARBON CONTENT EVALUATION IN SOUTHERN FORESTS OF NUEVO LEON

Oscar Alberto Aguirre-Calderón¹ y Javier Jiménez-Pérez¹

RESUMEN

El reconocimiento de la importancia de los servicios ambientales que proporcionan los bosques y la necesidad de contar con métodos confiables para su evaluación constituyen la justificación del presente trabajo, cuyos objetivos fueron desarrollar métodos e instrumentos prácticos para realizar estimaciones del contenido de carbono en bosques del sur del estado de Nuevo León. Se diseñaron ecuaciones de biomasa en función del diámetro normal de la forma para *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote* y *Quercus* spp. en bosques templados del sur de Nuevo León. Además, se determinó el contenido de carbono de las especies objeto de estudio, mediante un analizador de carbono orgánico. Los resultados permitieron la construcción de tarifas y tablas de biomasa así como del contenido de carbono; a partir de ellos se evaluó el carbono en el componente arbóreo de bosques mixtos de pino-encino, encino-pino y rodales puros de pino. El porcentaje de carbono en los individuos de *P. pseudostrobus* fue 50.35, en *P. teocote* 47.78 y en *Quercus* spp. 48.43. Las tablas de contenido de carbono para rodales puros de pino se construyeron considerando diferentes índices de sitio. Las estimaciones del contenido de carbono fueron: pino-encino 45.24 Mg ha⁻¹, encino-pino 64.20 Mg ha⁻¹, de *P. pseudostrobus* 73.18 Mg ha⁻¹ y de *P. teocote* 47.01 Mg ha⁻¹.

Palabras clave: Índice de sitio, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, secuestro de carbono, servicios ambientales, *Quercus* spp.

ABSTRACT

The acknowledgement of the importance of environmental services that forests provide and the need to count on reliable methods to assess them are the reasons to accomplish the actual study, whose objectives were to develop methods and practical tools to estimate the carbon content of some forests at the South of Nuevo León State. Biomass equations based on the normal diameter (called DBH at height 1.30m) of the tree form for *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote* and *Quercus* spp. were developed in temperate forests of Southern Nuevo Leon (NL). Likewise, it was estimated the carbon content of the tree species under study, using an organic carbon analyzer. Results allowed the construction of rates, biomass and carbon content tables, which were assessed by the amount of carbon in the tree component of mixed forests of pine-oak, oak-pine and pure pine stands. The carbon per cent content in dry weight in *Pinus pseudostrobus* trees was 50.35, in *P. teocote* 47.78 and in *Quercus* spp. 48.43. Carbon content site index tables were constructed for pure three pine species stands. Results of carbon content evaluation in different forest types were: pine-oak 45.24 Mg ha⁻¹, oak-pine 64.20 Mg ha⁻¹ of *P. pseudostrobus* 73.18 Mg ha⁻¹ and *P. teocote* 47.01 Mg ha⁻¹.

Key words: Site index, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, carbon sequestration, environmental services, *Quercus* spp.

Fecha de recepción: 22 de junio de 2011

Fecha de aceptación: 20 de julio de 2011

INTRODUCCIÓN

Actualmente se reconoce la importancia de los bosques como un medio para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), causantes del cambio climático, en particular el bióxido de carbono (CO₂). Así, para contrarrestar, las múltiples instituciones nacionales y organizaciones globales desarrollan planes para preservar áreas naturales, mejorar el manejo forestal y establecer plantaciones que propicien el

INTRODUCTION

The important role to mitigate greenhouse gas emissions (GHG) that forests play is now recognized; the increment of those GHG is considered as the main cause of climate change, particularly carbon dioxide (CO₂). Thus, to counteract this process, the various national institutions and global organizations carry out plans to preserve natural areas, improve forest management and establish plantations

¹Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: oscar.aguirrecl@uanledu.mx

almacenamiento de carbono por periodos prolongados. De manera complementaria, se han presentado diversos métodos para la evaluación de la capacidad de captura de carbono en ecosistemas forestales, con objeto de valorar este servicio ambiental con procedimientos confiables y costo eficientes (Husch *et al.*, 2003; Ravindranath y Ostwald, 2007; Van Laar y Akça, 2007; Hoover, 2008; Bigsby, 2009; Pretzsch, 2009). En este contexto, en México se han aplicado diversos métodos para estimar la biomasa y el carbono contenido en diversos ecosistemas forestales (De Jong *et al.* 1995; Ordóñez *et al.*, 2001; Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Pimienta *et al.*, 2007; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008; Balderrama *et al.*, 2008; Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009; Návar, 2009; Figueroa-Navarro *et al.*, 2010).

El reconocimiento de la importancia de los servicios ambientales de los bosques y la necesidad de contar con métodos confiables para su evaluación constituye la justificación del presente trabajo, cuyos objetivos fueron desarrollar métodos e instrumentos prácticos para realizar estimaciones del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León, para contribuir a su valoración y a la ejecución de proyectos que beneficien a las comunidades del área y, que a su vez, permitan un aprovechamiento diversificado y sustentable de los recursos forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de investigación

El trabajo de campo se llevó a cabo en bosques puros de *Pinus pseudostrabus* Lindl. y *P. teocote* Schied. ex Schltdl. et Cham, así como en bosques mixtos de pino-encino o encino-pino de la Sierra Madre Oriental del sur de Nuevo León. El área se localiza entre 24°27'23" y 24°32'51" de latitud norte y 99°53'54" y 100°01'34" de longitud oeste, en el municipio de Galeana, NL; la precipitación media anual es de 430.3 mm y la altitud promedio es de 2,000 m.

Estimación de biomasa y contenido de carbono

En una primera fase se estimó la biomasa del componente aéreo de los árboles de *Pinus pseudostrabus*, *P. teocote* y *Quercus* spp., mediante el derribo de 32 individuos de diferentes categorías diamétricas, en áreas con programas de manejo forestal autorizados. Cada uno se separó en sus componentes: fuste, ramas y follaje; se determinó el peso húmedo de estos últimos, el fuste fue seccionado en cuatro a ocho fragmentos de acuerdo al diámetro, con un peso máximo de 100 kg.

De las ramas y hojas se extrajeron tres muestras. En todos los casos se le determinó el peso húmedo. Posteriormente se

to encourage carbon storage for extended periods. In a complementary way, several methods have been proposed to assess the ability of carbon sequestration of forest ecosystems, in order to evaluate this environmental service with reliable procedures and cost efficient benefits (Husch *et al.*, 2003; Ravindranath and Ostwald, 2007; Van Laar and Akca, 2007; Hoover, 2008; Bigsby, 2009; Pretzsch, 2009). In this context, Mexico has implemented several assessment methods for estimating biomass and carbon in different forest ecosystems (De Jong *et al.*, 1995; Ordóñez *et al.*, 2001; Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Pepper *et al.*, 2007; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008; Balderrama *et al.*, 2008; Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009; Návar, 2009; Figueroa-Navarro *et al.*, 2010).

The recognition of the importance of forests environmental services and the need for reliable evaluation methods is the reason to do the actual work, whose main objectives were to develop a practical method and identify tools for estimating the carbon content in Southern forests of Nuevo Leon State, to assist in the assessment of this service and to promote projects that help communities in the area and allow a diversified and sustainable harvest of forest resources.

MATERIALS AND METHODS

Study area

Field work was made in pure stands of *Pinus pseudostrabus* Lindl. and *P. teocote* Schied. ex Schltdl. et Cham forests, as well as in mixed forests of pine-oak or oak-pine of Sierra Madre Oriental in Southern Nuevo Leon. The area is located between 24°27'23" and 24°32'51" North and 99°53'54" and 100°01'34" West, with an annual average precipitation of 430 mm and an average altitude of 2,000 m.

Biomass and carbon content estimation

As a first stage, the aerial biomass was estimated in trees of *P. pseudostrabus*, *P. teocote* and *Quercus* spp. with 32 felled individuals of different diameter categories from areas with approved management programs. Stem, branches and foliage were separated from each tree; the wet weight of branches and leaves was determined and the stem was cut into 4 to 8 pieces according to diameter, with a maximum weight of 100 kg.

Three samples of branches and leaves were taken. In all cases, wet weight was determined. Afterwards, they were placed in a stove at 105° C until a constant dry weight was obtained. With these data was calculated the total dry weight of trees, by the dry weight / wet weight ratio for each component. The total sum of all dry weights of the components made up the total biomass of the tree.

colocaron en una estufa marca VWR modelo 1305U a una temperatura de 105°C, hasta alcanzar un peso seco constante. Con esos datos se calculó el peso seco total de los árboles, mediante la relación peso seco/ peso húmedo de cada componente. La suma de todos los pesos secos de los componentes constituyó la biomasa total del árbol.

Para formular las ecuaciones de biomasa se analizaron varios modelos de regresión que relacionan la biomasa con el diámetro normal. Con base en las ecuaciones de mejor ajuste se elaboraron tarifas de biomasa y contenido de carbono para árboles individuales de las especies investigadas, la variable independiente fue el diámetro normal.

El material vegetal se procesó con un equipo analizador de carbono (Solids TOC Analyzer) para calcular el contenido de carbono por especie, en el caso de los pinos y un valor promedio para los encinos.

Con los datos obtenidos de biomasa y carbono, en función del diámetro normal, se construyeron las tablas correspondientes para *Pinus pseudostrabus* y *P. teocote*, a partir de los modelos de crecimiento para rodales de densidad completa desarrollados por Aguirre (1991, 2010) para diferentes índices de sitio, los cuales incluyen los valores de edad, diámetro normal, altura dominante y media, área basal ha⁻¹ y volumen en pie, entre otras variables, para índices de sitio expresados por la altura dominante en metros a la edad base de 50 años.

Evaluación del contenido de carbono en ecosistemas forestales

Para evaluar el contenido de carbono en el área de estudio se establecieron sitios circulares de 400 m², distribuidos en áreas de bosques mixtos de pino-encino y encino-pino, así como en rodales puros de las dos especies de pino investigadas.

Se desarrollaron dos métodos, el primero se basó en la obtención de un registro diamétrico de cada uno de los individuos presentes en áreas con diversidad estructural y mezcla de especies, en rodales de *Pinus pseudostrabus*, *P. teocote* y *Quercus spp.* La estimación de la biomasa de árboles individuales se hizo con la ecuación de biomasa generada para cada especie, o las tarifas elaboradas a partir de éstas, que incluyen los datos de biomasa y carbono en función del diámetro. Se calculó la biomasa y contenido de carbono de individuos de diferentes categorías diamétricas y se sumaron los valores individuales para estimar los montos correspondientes por unidad de superficie.

El segundo método consistió en la estimación de los parámetros de interés mediante la aplicación de tablas de biomasa y contenido de carbono para rodales puros y coetáneos de *Pinus pseudostrabus* y *P. teocote*, las cuales incluyen

In order to formulate biomass equations, several regression models which relate the biomass with the normal diameter (DBH) were analyzed. Based on the best-fit equations, rates and carbon biomass for individual trees species were designed, considering DBH as the independent variable.

The vegetal material was processed by a carbon analyzer (Solids TOC Analyzer) to calculate the carbon content of each species in the case of pines, and an average value for oaks.

With the data obtained from biomass and carbon as a function of normal diameter, tables for *Pinus pseudostrabus* and *P. teocote* were built from growth models of full density stands developed by Aguirre (1991; 2010), for different site which include age, normal diameter, dominant height, basal area average ha⁻¹ and current increment volume, among other variables, site indexes expressed by the dominant height in meters at the base age of 50 years.

Carbon evaluation in forest ecosystems

To assess carbon content in the study area, 400 m² circular sites were established and distributed in mixed, pine-oak and oak-pine forest areas, as well as in pure stands of both pine species.

Two methods were tested, the first was based on obtaining a diameter record of each of the individuals in areas with structural diversity and mixture of species in stands composed by *Pinus pseudostrabus*, *P. teocote* and *Quercus spp.* To estimate the individual tree biomass used the equation developed for each species or the rates made from them, including the biomass and carbon data in terms of diameter. Biomass and carbon content of trees of different diameter categories were calculated and individual values to estimate the appropriate total amount per unit area were added.

The second method consisted on estimating the interest parameters through the use of biomass and carbon content tables of pure and even-aged stands of *Pinus pseudostrabus* and *P. teocote*, which include data on age, number of trees per ha⁻¹ in ecosystems of full density, DBH, basal area ha⁻¹, biomass ha⁻¹ and carbon ha⁻¹. The data in the tables correspond to a 1.0 density degree and at different levels of site (IS). Thus, carbon content of a given area is first evaluated according to Aguirre (1989, 2010) IS models by estimating the average age and dominant height. The real density degree (GD) of the stands is calculated by the following equation:

$$GD = \frac{\text{Real basal area}}{\text{Reference basal area}} \quad (1)$$

Where:

GD = Density degree

Real basal area = field work value

datos de edad, número de árboles ha⁻¹ en ecosistemas de densidad completa, diámetro normal, área basal ha⁻¹, biomasa ha⁻¹ y contenido de carbono ha⁻¹, además corresponden a un grado de densidad 1.0 y a diferentes índices de sitio (IS). Por lo anterior, el contenido de carbono de un área determinada se determinó por el IS, de acuerdo con los modelos de Aguirre (1989; 2010), a partir de la estimación de la edad promedio y la altura dominante. El grado de densidad (GD) real de los rodales inventariados se calculó con la ecuación:

$$GD = \frac{\text{Área basal real}}{\text{Área basal de la tabla}} \quad (1)$$

Donde:

GD = grado de densidad

Área basal real = valor obtenido en campo

Área basal de la tabla = valor de área basal de la tabla de biomasa y contenido de carbono para el índice de sitio correspondiente.

Dado que existe una relación lineal entre el área basal y el volumen, y también lo hay, entre el área basal y la biomasa, así como con el contenido de carbono de un rodal, basta multiplicar el grado de densidad por el dato de carbono de la tabla, a una edad determinada para conocer el carbono de cualquier área pura y coetánea de *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote*.

RESULTADOS

Estimación de biomasa y carbono

La función que mejor ajuste presentó para la estimación de la biomasa en función del diámetro normal fue:

$$b = \beta_1 * d^2$$

Donde:

b = biomasa (kg)

d = diámetro normal (cm)

β_1 = parámetro del modelo (Cuadro 1).

Los parámetros y estadísticos de ajuste de la ecuación se muestran en el Cuadro 1. En este se observa que la función es adecuada para estimar la biomasa a partir del diámetro normal, lo anterior se corroboró con el ajuste gráfico de la ecuación.

Respecto al contenido de carbono determinado con el analizador de carbono los resultados fueron *Pinus pseudostrobus* 50.35%, *P. teocote* 47.78% y *Quercus* spp. 48.43 %.

Tarifa de biomasa y contenido de carbono

Reference basal area = biomass and carbon content at the basal area from each reference site estimated

As a linear relationship exists between basal area and volume, and also between basal area and biomass, as well as with the carbon content of each stand, it is enough to multiply the carbon density degree values by the carbon value of the table at a certain age to obtain the total carbon of any pure and peer stand of *Pinus pseudostrobus* and *P. teocote*.

RESULTS

Biomass and carbon estimation

The function with best fit presented for estimation of biomass as a function of the normal diameter was:

$$b = \beta_1 * d^2$$

Where:

b = biomass in kg

d = DBH in cm

β_1 = model value (see Table 1).

The parameters and fit statistics of the equation are shown in Table 1, where it can be observed that the function is suitable for estimating biomass from the normal diameter, which is confirmed by the graphic of the equation set.

Cuadro 1. Parámetros estimados y estadísticos de bondad de ajuste para la ecuación de biomasa.

Table 1. Parameter estimates and goodness of fit statistics for the biomass equation.

Especie	β_1	Error estándar	Valor de t	Pr> t	REMC	R ² ajustada
<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.35179	0.03102	11.34	<.0001	64.202	0.941
<i>P. teocote</i>	0.40196	0.03320	12.11	<.0001	77.838	0.948
<i>Quercus</i> spp.	0.45534	0.02683	16.97	<.0001	92.095	0.947

β_1 = parámetro del modelo; Pr Nivel de significancia de β ; REMC = Raíz del error medio cuadrático.

β_1 = parameter of the model; Pr Level of significance; REMC = Root mean square error

In regard to the carbon content determined by the analyzer, results were as follows: 50.35% for *Pinus pseudostrobus*, 47.78% for *P. teocote* and 48.43% for *Quercus* spp.

La tarifa de biomasa y contenido de carbono se construyó empleando la ecuación 2, de igual manera se obtuvieron los porcentajes de carbono en la biomasa de las especies estudiadas (Cuadro 2).

Tablas de biomasa y contenido de carbono

Biomass and carbon content rate

The biomass and carbon content rate was created by using equation 2, and in the same way carbon per cent in biomass of the studied species (Table 2).

Cuadro 2. Tarifa para la estimación de biomasa y contenido de carbono.

Table 2. Biomass and carbon content estimating rate.

Categoría Diamétrica (cm)	<i>Pinus pseudostrobus</i>		<i>P. teocote</i>		<i>Quercus</i> spp.	
	Biomasa (kg)	Carbono (kg)	Biomasa (kg)	Carbono (kg)	Biomasa (kg)	Carbono(kg)
5	8.79	4.43	10.05	4.80	11.38	5.51
10	35.18	17.71	40.20	19.21	45.53	22.05
15	79.15	39.85	90.44	43.21	102.45	49.62
20	140.72	70.85	160.78	76.82	182.14	88.21
25	219.87	110.70	251.23	120.04	284.59	137.83
30	316.61	159.41	361.76	172.85	409.81	198.47
35	430.94	216.98	492.40	235.27	557.79	270.14
40	562.86	283.40	643.14	307.29	728.54	352.83
45	712.37	358.68	813.97	388.91	922.06	446.56
50	879.48	442.82	1004.90	480.14	1138.35	551.30
55	1064.16	535.81	1215.93	580.97	1377.40	667.08
60	1266.44	637.65	1447.06	691.40	1639.22	793.88

Biomass and carbon content tables

Las tablas de biomasa y contenido de carbono se generaron para los índices de sitio (IS) 21, 16 y 11, para la especie *Pinus pseudostrobus* (Cuadros 3, 4 y 5), y para los IS 21, 15 y 9 en el caso de *P. teocote* (cuadros 6, 7 y 8). En ambos taxa se observan diferencias en el carbono contenido en los rodales de grado de densidad 1.0, con distintos índices de sitio. A la edad de 50 años, rodales puros de *P. pseudostrobus* tienen valores de 109.47 Mg ha⁻¹, para el IS 21, mientras que en el IS 11, el carbono capturado es 66.14 Mg ha⁻¹. Los valores correspondientes para *P. teocote* son: 77.69 Mg ha⁻¹ en el IS 21 y de 29.81 Mg ha⁻¹ para el IS 9. Las diferencias entre las especies para un mismo índice de sitio (IS 21) se explican por el número de árboles y los diámetros normales, a la edad base de 50 años.

Tables of biomass and carbon content is built for the site index (SI) 21, 16 and 11 for the species: *Pinus pseudostrobus* (Tables 3, 4 and 5) and for IS 21, 15 and 9 for *P. teocote* (Tables 6, 7 and 8). In both species there are observed carbon content differences in stands of 1.0 density levels, with different site indexes. At the age of 50, *P. pseudostrobus* pure stands showed carbon contents of 109.47 Mg ha⁻¹ for the IS 21, while the IS 11 carbon stock is 66.14 Mg ha⁻¹. For *P. teocote*, the corresponding figures are 77.69 Mg ha⁻¹ in the IS 21 and 29.81 Mg ha⁻¹ for the IS 9. The differences between species for the same site index (IS 21) are explained by the number of trees and DBH to the base age 50.

Cuadro 3. Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrabus*, IS 21.

Table 3. Biomass and carbon content table for *Pinus pseudostrabus*, IS 21.

Edad (años)	N ha ⁻¹	Diámetro (cm)	Área basal (m ²)	Biomasa (ton ha ⁻¹)	Carbono (ton ha ⁻¹)
10	4240	6.5	13.9	63.02	31.73
15	1929	12.4	23.1	104.34	52.54
20	1233	17.6	30	134.36	67.65
25	915	22.2	35.1	158.64	79.87
30	738	26	39.1	175.50	88.37
35	625	29.3	42.3	188.76	95.04
40	548	32.2	44.8	199.88	100.64
45	491	34.9	46.9	210.39	105.93
50	449	37.1	48.6	217.41	109.47
55	415	39.2	50.1	224.34	112.95
60	387	41.1	51.3	229.97	115.79
65	365	42.7	52.4	234.12	117.88

Cuadro 5. Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrabus*, IS 11.

Table 5. Biomass and carbon content table for *Pinus pseudostrabus*, IS 11.

Edad (años)	N ha ⁻¹	Diámetro (cm)	Área basal (m ²)	Biomasa (ton ha ⁻¹)	Carbono (ton ha ⁻¹)
19	4693	6	12.9	59.43	29.93
20	4240	6.4	13.9	61.10	30.76
25	2995	8.6	17.5	77.93	39.24
30	2321	10.6	20.6	91.74	46.19
35	1911	12.4	23.3	103.37	52.05
40	1636	14.1	25.5	114.42	57.61
45	1439	15.6	27.5	123.20	62.03
50	1292	17	29.2	131.35	66.14
55	1178	18.2	30.7	137.27	69.11
60	1088	19.4	32.1	144.05	72.53
65	1013	20.5	33.3	149.76	75.40
70	952	21.5	34.4	154.81	77.95
75	899	22.4	35.4	158.69	79.90
80	855	23.3	36.4	163.29	82.22
85	816	24.1	37.2	166.73	83.95
90	780	24.9	38.1	170.13	85.66
95	752	25.6	38.7	173.37	87.29
100	726	26.3	39.4	176.66	88.95

Cuadro 4. Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrabus*, IS 16.

Table 4. Biomass and carbon content table for *Pinus pseudostrabus*, IS 16.

Edad (años)	N ha ⁻¹	Diámetro (cm)	Área basal (m ²)	Biomasa (ton ha ⁻¹)	Carbono (ton ha ⁻¹)
13	4415	6.2	13.5	59.70	30.06
15	3354	7.9	16.3	73.64	37.08
20	2073	11.7	22.1	99.83	50.26
25	1507	15	26.7	119.28	60.06
30	1196	18	30.4	136.32	68.64
35	1001	20.7	33.5	150.89	75.97
40	868	23	36.1	161.53	81.33
45	772	25.1	38.3	171.10	86.15
50	700	27	40.1	179.52	90.39
55	643	28.7	41.7	186.32	93.81
60	597	30.3	43.1	192.82	97.08
65	560	31.8	44.4	199.22	100.31
70	529	33.1	45.5	203.89	102.66
75	503	34.3	46.5	208.18	104.82
80	480	35.4	47.3	211.61	106.54
85	460	36.5	48.2	215.59	108.55
90	443	37.5	48.9	219.15	110.34
95	427	38.4	49.5	221.50	111.53
100	413	39.3	50.2	224.40	112.98

Cuadro 6. Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 21.

Table 6. Biomass and carbon content table for *Pinus teocote*, IS 21.

Edad (años)	N ha ⁻¹	Diámetro (cm)	Área basal (m ²)	Biomasa (ton ha ⁻¹)	Carbono (ton ha ⁻¹)
7	2885	6.6	9.7	50.51	24.14
10	1922	8.5	11	55.82	26.67
15	1235	11.8	13.6	69.12	33.03
20	914	15.1	16.3	83.77	40.02
25	728	18.3	19.1	98.00	46.82
30	608	21.4	21.9	111.92	53.48
35	524	24.4	24.5	125.40	59.92
40	461	27.3	27.1	138.10	65.99
45	414	30.1	29.5	150.77	72.04
50	376	32.8	31.8	162.60	77.69
55	346	35.4	34	174.29	83.27
60	321	37.8	36	184.36	88.09
65	300	40.1	37.9	193.91	92.65

Cuadro 7. Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 15.Table 7. Biomass and carbon content table for *Pinus teocote*, IS 15.

Edad (años)	N ha ⁻¹	Diámetro (cm)	Área basal (m ²)	Biomasa (ton ha ⁻¹)	Carbono (ton ha ⁻¹)
10	3332	6	9.5	48.22	23.04
15	2121	8	10.6	54.56	26.07
20	1564	9.9	12	61.62	29.44
25	1248	11.7	13.5	68.67	32.81
30	1044	13.5	15	76.48	36.54
35	903	15.2	16.5	83.86	40.07
40	799	16.9	17.9	91.73	43.83
45	720	18.5	19.3	99.05	47.33
50	658	20	20.6	105.80	50.55
55	608	21.4	21.8	111.92	53.48
60	567	22.7	23	117.44	56.11
65	533	24	24.2	123.40	58.96
70	504	25.2	25.2	128.65	61.47
75	480	26.4	26.3	134.47	64.25
80	458	27.5	27.2	139.22	66.52
85	440	28.5	28.1	143.66	68.64
90	424	29.5	29	148.32	70.87
95	409	30.4	29.7	151.93	72.59
100	397	31.3	30.5	156.34	74.70

Evaluación del contenido de carbono en bosques

En los bosques mixtos se usaron los datos de árboles individuales y las tarifas de carbono construidas; para *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote* se emplearon las tablas de contenido de carbono.

Bosque de pino-encino. Los resultados corresponden a un bosque mixto de *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote* y *Quercus spp.* con 275 individuos ha⁻¹. La distribución de las especies por categorías diamétricas se muestra en la Figura 1. Se presentan los valores de biomasa y contenido de carbono por categoría diamétrica y totales calculados con la ecuación 2 y los valores de porcentaje de carbono de cada especie (Cuadro 9). El total de biomasa fue de 93.91 Mg ha⁻¹ y el de carbono de 45.24 Mg ha⁻¹.

Cuadro 8. Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 9.Table 8. Biomass and carbon content table for *Pinus teocote*, IS 9.

Edad (años)	N ha ⁻¹	Diámetro (cm)	Área basal (m ²)	Biomasa (ton ha ⁻¹)	Carbono (ton ha ⁻¹)
19	3802	5.6	9.3	47.93	22.90
20	3598	5.8	9.4	48.65	23.25
25	2848	6.6	9.8	49.87	23.83
30	2373	7.4	10.2	52.23	24.96
35	2047	8.2	10.7	55.33	26.43
40	1810	8.9	11.3	57.63	27.54
45	1632	9.6	11.8	60.46	28.89
50	1492	10.2	12.3	62.40	29.81
55	1380	10.9	12.8	65.90	31.49
60	1289	11.4	13.2	67.34	32.17
65	1214	12	13.7	70.27	33.57
70	1150	12.5	14.1	72.23	34.51
75	1096	13	14.5	74.45	35.57
80	1050	13.5	14.9	76.92	36.75
85	1009	13.9	15.3	78.36	37.44
90	974	14.3	15.7	80.06	38.25
95	943	14.7	16	81.91	39.14
100	916	15	16.3	82.84	39.58

Assessment of carbon content in forests

For mixed forests data from individual trees and the rates of carbon were used; for *Pinus pseudostrobus* and *P. teocote*, the carbon content tables.

Pine-oak forest. Results are corresponding to a *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote* and *Quercus spp.* mixed forest with 275 individuals per ha⁻¹. The distribution of species by diameter class is shown in Figure 1. Biomass and carbon content values by diametric category and total calculated number of trees, by equation 2 as well as carbon per cent of each species are shown in Table 9. The total biomass was 93.91 Mg ha⁻¹ and 45.24 Mg ha⁻¹ of carbon.

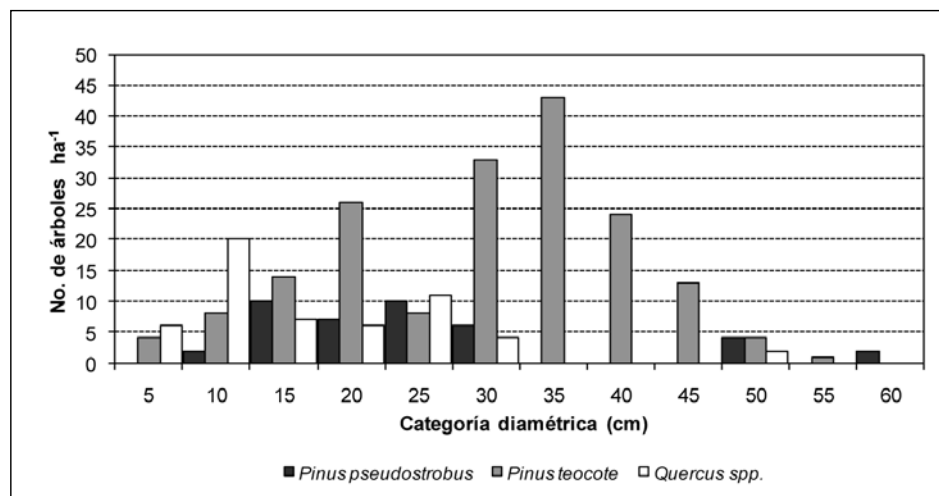


Figura 1: Estructura del bosque mixto de pino-encino.
 Figure 1: Pine-oak mixed forest structure.

Cuadro 9. Contenido de carbono en un bosque mixto de pino-encino.

Table 9. Carbon content in a pine-oak mixed forest.

Categoría Diamétrica (cm)	<i>Pinus teocote</i>			<i>P. pseudostrabus</i>			<i>Quercus spp.</i>		
	N ha ⁻¹	Biomasa (ton)	Carbono (ton)	N ha ⁻¹	Biomasa (ton)	Carbono (ton)	N ha ⁻¹	Biomasa (ton)	Carbono (ton)
5	4						6		
10	8	0.32	0.15	2	0.07	0.04	20	0.91	0.44
15	14	1.27	0.60	10	0.79	0.40	7	0.72	0.35
20	26	4.18	2.00	7	0.99	0.50	6	1.09	0.53
25	8	2.01	0.96	10	2.20	1.11	11	3.13	1.52
30	33	11.94	5.70	6	1.90	0.96	4	1.64	0.79
35	43	21.17	10.12						
40	24	15.44	7.37						
45	13	10.58	5.06						
50	4	4.02	1.92	4	3.52	1.77	2	2.28	1.10
55	1	1.22	0.58			0.00			
60				2	2.53	1.28			
Total	178	72.14	34.47	41	12.00	6.04	56	9.77	4.73

Bosque de encino-pino. En el bosque mixto de *Quercus spp.* y *Pinus teocote* se registraron 395 individuos ha⁻¹. La estructura diamétrica se presenta en la Figura 2. Los valores de biomasa y contenido de carbono por categoría diamétrica y totales que se obtuvieron mediante la suma de los valores de los árboles individuales se consignan en el Cuadro 10. El total de biomasa fue de 132.85 Mg ha⁻¹ y el de carbono 64.20 Mg ha⁻¹.

Oak-pine forest. This mixed forest by *Quercus spp.* and *Pinus teocote* registered 395 trees per ha⁻¹. Diameter class structure is shown in Figure 2. Biomass and carbon content values by diameter class, and the total stand values that were obtained from the sum of individual tree values are gathered in Table 10. Total biomass was 132.85 Mg ha⁻¹ and carbon content, 64.20 Mg ha⁻¹.

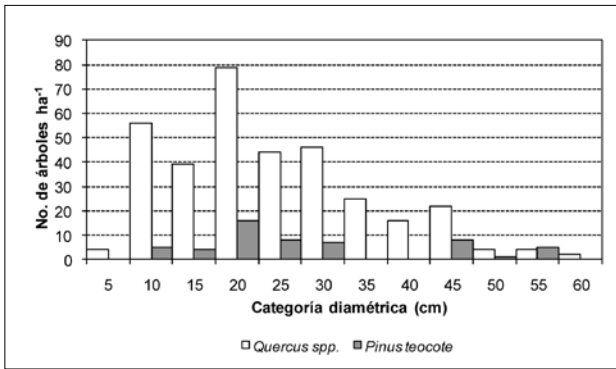


Figura 2. Estructura del bosque mixto de encino-pino.
Figure 2. Oak-pine mixed forest structure.

Rodales puros de pino. Los resultados dasométricos de la evaluación de un rodal coetáneo de *Pinus pseudostrubus* fueron: edad promedio 35 años, altura dominante 16.5 m y área basal 32.6 m² ha⁻¹, con un índice de sitio 21 (Aguirre, 1991). Esta primera determinación fue la base para el cálculo del contenido de carbono con base en la tabla de biomasa y almacén de carbono para *Pinus pseudostrubus*, IS 21 (Cuadro 3). Un rodal de densidad completa tiene a la edad de 35 años, un área basal de 42.3 m² ha⁻¹ y el valor estimado para el ecosistema inventariado fue de 32.6 m² ha⁻¹. El grado de densidad se determinó en 0.77 de acuerdo a la ecuación 1, de lo que resulta:

$$\text{Biomasa} = 188.76 \times 0.77 = 145.35 \text{ Mg ha}^{-1}$$

$$\text{Contenido de carbono} = 95.04 \times 0.77 = 73.18 \text{ Mg ha}^{-1}$$

Para *Pinus teocote*, los registros que se obtuvieron fueron: edad promedio 50 años, altura dominante 15.9 m y área basal 19.1 m² ha⁻¹. Se determinó un valor de IS de 15 (Aguirre, 2010). Se observa que un rodal de densidad completa tiene a la edad de 50 años, un área basal de 20.6 m² ha⁻¹ y un valor real en campo de 19.1 m² ha⁻¹, por lo que el grado de densidad fue 0.93 (Cuadro 7). De la multiplicación de los valores de biomasa y carbono de la tabla a la edad de 50 años, por el grado de densidad, se obtiene:

$$\text{Biomasa} = 105.80 \times 0.93 = 98.39 \text{ Mg ha}^{-1}$$

$$\text{Contenido de carbono} = 50.55 \times 0.93 = 47.01 \text{ Mg ha}^{-1}$$

DISCUSIÓN

La ecuación de biomasa formulada es adecuada para la estimación de dicha variable en términos de ajuste, y constituye una simplificación del modelo frecuentemente empleado para este fin (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Gayoso, 2002; West, 2004; Díaz-Franco *et al.*, 2007; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008; Navar, 2009), ya que sólo incluye un parámetro, lo que facilita su aplicación a los datos de inventarios forestales convencionales.

Cuadro 10. Contenido de carbono en un bosque mixto encino-pino.

Table 10. Carbon content in an oak-pine mixed forest.

Categoría Diamétrica (cm)	<i>Quercus</i> spp.			<i>Pinus teocote</i>		
	N ha ⁻¹	Biomasa (ton)	Carbono (ton)	N ha ⁻¹	Biomasa (ton)	Carbono (ton)
5	4	0.05	0.02			
10	56	2.55	1.23	5	0.20	0.10
15	39	4.00	1.94	4	0.36	0.17
20	79	14.39	6.97	16	2.57	1.23
25	44	12.52	6.06	8	2.01	0.96
30	46	18.85	9.13	7	2.53	1.21
35	25	13.94	6.75			
40	16	11.66	5.65			
45	22	20.29	9.82	8	6.51	3.11
50	4	4.55	2.21	1	1.00	0.48
55	4	5.51	2.67	5	6.08	2.90
60	2	3.28	1.59			
Total	341	111.58	54.04	54	21.27	10.16

Pure pine stands. Mensuration results calculated for the evaluation of a pure *Pinus pseudostrubus* stand were: average age, 35; dominant height, 16.5 m and basal area, 32.6 m² ha⁻¹ with 21 as site index. This first assessment was the basis for calculating carbon content using the table of biomass and carbon stock for *Pinus pseudostrubus*, IS 21 (Table 3). A stand of full density is at age 35, a basal area of 42.3 m² ha⁻¹ and the estimated value for the stand inventory is 32.6 m² ha⁻¹. The degree of density is 0.77 according to equation 1, which is:

$$\text{Biomass} = 188.76 \times 0.77 = 145.35 \text{ Mg ha}^{-1}$$

$$\text{Carbon content} = 95.04 \times 0.77 = 73.18 \text{ Mg ha}^{-1}$$

For *Pinus teocote*, the records obtained were: average age, 50 years; dominant height 15.9 m and basal area, 19.1 m² ha⁻¹. The IS value was 15 (Aguirre, 2010). It can be observed that a full density stand of 50 years old has a basal area of 20.6 m² ha⁻¹ and the actual value obtained in the field is 19.1 m² ha⁻¹, so that the degree of density was 0.93 (Table 7). From the multiplication of the biomass and carbon values from the table at 50 years old by density degree, are obtained:

$$\text{Biomass} = 105.80 \times 0.93 = 98.39 \text{ Mg ha}^{-1}$$

$$\text{Carbon content} = 50.55 \times 0.93 = 47.01 \text{ Mg ha}^{-1}$$

DISCUSSION

The biomass equation is suitable for the estimation of this variable in terms of fitness and is a simplification of the model, often used for this kind of estimation (Acosta-Mireles *et*

Los valores más altos de biomasa y contenido de carbono para una categoría diamétrica determinada correspondieron a *Quercus* spp., seguido de *Pinus teocote* y *P. pseudostrabus* (198.48 kg, 172.85 kg y 159.41 kg de carbono para un árbol de 30 cm, respectivamente); lo anterior denota la importancia de realizar determinaciones de biomasa y carbono a nivel de especie. Individuos de 30 cm de diámetro de *Pinus cooperi* en Durango, por ejemplo, contienen 208.16 kg de carbono (Pimienta *et al.*, 2007). En el caso de la biomasa, ejemplares de *Pinus pseudostrabus* y *P. teocote* con 20 cm de diámetro tienen 140.72 kg y 160.78 kg, respectivamente; para un árbol de *Pinus patula* Schied. ex Schltdl. et Cham. del mismo diámetro, Díaz-Franco *et al.* (2007) obtuvieron 113.38 kg.

La evaluación de la biomasa en los ecosistemas presentó, como se esperaba, diferencias importantes. En el área de estudio el bosque con mayor contenido de biomasa es el mixto, constituido por *Quercus* spp. y *Pinus teocote*, con 132.85 Mg ha⁻¹, cifra cercana a la obtenida por Rodríguez-Laguna *et al.* (2007) en un bosque tropical subcaducifolio ubicado en Tamaulipas (136.9 Mg de biomasa ha⁻¹); en bosques mediterráneos del género *Quercus* citan valores de biomasa de 64 a 121 Mg ha⁻¹ (Rapp *et al.*, 1999). El bosque de pino-encino inventariado tiene 93.91 Mg de biomasa ha⁻¹, cercano al consignado en un bosque de composición similar en el norte de Durango, en el cual, en promedio, se obtuvieron 99.84 Mg de biomasa ha⁻¹ (Silva-Arredondo y Navar-Cháidez, 2010).

Los valores de incremento medio anual de biomasa para *Pinus pseudostrabus* y *P. teocote* son diferentes a la edad base de 50 años, para igual índice de sitio, con valores de 4.35 Mg ha⁻¹ y 3.25 Mg ha⁻¹, respectivamente. En comparación, *Pinus patula* muestra tasas de incremento de 6.7 Mg ha⁻¹, en Hidalgo (Figuroa-Navarro *et al.*, 2010), las cuales sólo se observan para *P. pseudostrabus* a una edad de 22 años y en la mejor condición de productividad en el área de estudio (IS 21); en todos los índices de sitio *P. teocote* tiene incrementos medios anuales en biomasa menores a 6 Mg ha⁻¹.

Las diferencias de productividad de biomasa entre especies de pino o para la misma especie en México son notables. En este trabajo la máxima producción de biomasa a la edad de 25 años en el IS 21 es de 158.64 Mg ha⁻¹ para *Pinus pseudostrabus*, el dato correspondiente para un rodal de productividad promedio de *P. patula* documentada es de 166.6 Mg ha⁻¹ (Figuroa-Navarro *et al.*, 2010). El valor de biomasa ha⁻¹ obtenido para *Pinus pseudostrabus*, índice de sitio 21, edad promedio de 35 años (73.18 Mg), es equivalente al de 74 Mg ha⁻¹ citado por Ordóñez *et al.* (2001), para esta especie en bosques de Michoacán.

al., 2002; Gayoso, 2002; West, 2004; Díaz-Franco *et al.*, 2007; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008; Navar, 2009), since it includes only one parameter, which makes its application easier for conventional forest inventory data.

The highest biomass and carbon content values to a given diameter category were for *Quercus* spp. followed by *Pinus pseudostrabus* and *P. teocote* (198.48 kg, 172.85 kg and 159.41 kg of carbon for a tree of 30 cm, respectively). This indicates the importance of biomass and carbon determinations by species. For example, *Pinus cooperi* trees of 30 cm in diameter in Durango State, have 208.16 kg of carbon (Pimienta *et al.*, 2007). In the case of biomass, *Pinus pseudostrabus* and *P. teocote* trees with 20 cm of diameter had 140.72 kg and 160.78 kg, respectively and for a *Pinus patula* Schied. ex Schltdl. et Cham tree of the same diameter, Díaz-Franco *et al.* (2007) determined 113.38 kg.

The assessment of biomass in the ecosystems showed important differences as expected. In the study area the forest with the highest biomass is the mixed one, with *Quercus* spp. and *Pinus teocote*, with 132.85 Mg ha⁻¹, which is close to that obtained by Rodríguez-Laguna *et al.* (2007), in a deciduous tropical forest in Tamaulipas State (biomass 136.9 Mg ha⁻¹); in Mediterranean *Quercus* forests biomass values of 64 to 121 Mg ha⁻¹ are reported (Rapp *et al.*, 1999). The pine-oak forest has an inventory biomass of 93.91 Mg ha⁻¹, which is a rather close number to that of the forest with a similar composition in the north of Durango State, where the average biomass was 99.84 Mg ha⁻¹ (Silva-Arredondo and Navar-Cháidez, 2010).

The values of annual average biomass increment of *Pinus pseudostrabus* and *P. teocote* are different from the base age 50 for the same site index, showing values of 4.35 Mg ha⁻¹ and 3.25 Mg ha⁻¹, respectively. In contrast, *Pinus patula* shows increment rates of 6.7 Mg ha⁻¹ in Hidalgo State (Figuroa-Navarro *et al.*, 2010), which are only observed for *P. pseudostrabus* at the age of 22 years and at its best shape of productivity in the study area (IS 21); in all site indexes, *P. teocote* has average annual increments in biomass below 6 Mg ha⁻¹.

The differences of biomass productivity among pine species for the same species in Mexico are remarkable. In this study, the maximum biomass production at the age of 25 years in the IS 21 is 158.64 Mg ha⁻¹ for *Pinus pseudostrabus*; the corresponding data for an average stand productivity of *P. patula* reported by Figuroa-Navarro *et al.* (2010) is 166.6 Mg ha⁻¹. The value of biomass per ha⁻¹ obtained for *Pinus pseudostrabus*, site index 21, average age of 35 years (73.18 Mg) is equivalent to 74 Mg ha⁻¹, as reported by Ordóñez *et al.* (2001) for this species in the forests of Michoacán State.

CONCLUSIONES

Los métodos desarrollados constituyen opciones prácticas para la evaluación del contenido de carbono en ecosistemas forestales puros y coetáneos de *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote*, así como para bosques mixtos de estas especies y cuando conforman mezclas con taxa del género *Quercus*. Los datos de biomasa y contenido de carbono pueden derivarse de los inventarios convencionales de sitios temporales de muestreo, mediante tarifas basadas en las categorías diamétricas de los árboles individuales, o bien a partir de la obtención de valores promedio en bosques puros y coetáneos, empleando los valores de referencia de las tablas elaboradas para las diferentes condiciones de productividad. 🌱

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Comisión Nacional Forestal y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento otorgado a través del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, Proyecto CONAFOR-2002-C01-6054 Estructura, diversidad y contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León.

REFERENCIAS

- Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velázquez-Martínez y J. D. Etchevers-Barra 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6):725-736.
- Aguirre C., O. A. 1989. Aufstellung von Ertragstafeln auf der Basis einmaliger Waldaufnahmen am Beispiel von *Pinus pseudostrobus* Lindl. im Nordosten Mexikos. Dissertation. Universität Göttingen. Göttingen, Deutschland. 107 p.
- Aguirre C., O. A. 1991. Elaboración de tablas de producción en base a parcelas temporales de muestreo. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* 1(5): 61-67.
- Balderrama, S., C. Luján A., G. Hernández y L. U. Castruita 2008. Captura de carbono en bosque de coníferas de la Sioerra Tarahumara en Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4(2): 203-214.
- Bigsby, H. 2009. Carbon banking: creating flexibility for forest owners. *Forest Ecology and Management* 257(1): 378-383.
- De Jong, B. H. J., G. Montoya-Gómez, K. Nelson, L. Soto-Pinto and R. Tipper 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Díaz-Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala y J. D. Etchevers-Barra 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13 (1): 25-34.
- Domínguez-Cabrera, G., O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, R. Rodríguez-Laguna y J. A. Díaz-Balderas 2009. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 59-64.
- Figueroa-Navarro, C. M., G. Ángeles-Pérez, A. Velázquez-Martínez, H. M. de los Santos-Posadas 2010. Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. en Zacualtipan, Hidalgo. *Revista ...* 1(1): 95-105
- Gayoso, J. 2002. Medición de la captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 53 p.

CONCLUSIONS

The methods here developed are practical options for assessing carbon content in pure and even-aged *Pinus pseudostrobus* and *P. teocote* forest ecosystems as well as for mixed forests of these species and when they mix with species of the *Quercus* genus. The of biomass and carbon stocks data may be inferred from conventional sampling of temporary sites, using rates based on diametric class of individual trees, or by obtaining average values in pure stands and even-aged, by using the reference values from the tables prepared for different productivity conditions. 🌱

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) and the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for sponsoring this study Project (CONAFOR-2002-C01-6054).

End of the English version

- Husch, B., T. W. Beers and J. A. Kershaw, JR. 2003. *Forest Mensuration*. Fourth Ed. John Wiley & Sons. New York, NY, USA. 443 p.
- Návar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257(2): 427-434.
- Ordóñez, J. A., B. H. J. de Jong, O. Maser 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7 (2): 27-47.
- Pimienta de la T. D. J., G. Domínguez C., O. Aguirre C., F. J. Hernández y J. Jiménez P. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1): 35-46.
- Pretzsch, H. 2009. *Forest dynamics, growth and yield*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 664 p.
- Rapp, M. I. Santa Regina, M. Rico and H. Gallego 1999. Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in Mediterranean oak forests. *Forest Ecology and Management* 119(1-3):39-49.
- Ravindranath, N. H. and M. Ostwald 2007. *Carbon inventory methods*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 308 p.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, J. Meza- Rangel, O. Aguirre-Calderón y R. Razo-Zárate 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4(2): 215-222.
- Silva-Arredondo, F. M., J. J. Návar-Cháidez 2010. Factores de expansión en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1): 55-62.
- Van Laar, A. and A. Akça 2007. *Forest Mensuration. Series: Managing Forest Ecosystems, No. 13*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 383 p.
- West, P. W. 2004. *Tree and forest measurements*. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 167 p.



José Villanueva Díaz (2010). Paraje de bosque mixto con árbol incendiado al centro. El árbol muerto está rodeado por especímenes de *Pinus jeffreyi*, *Pinus lambertiana* y *Abies discolor*. Parque Nacional de San Pedro Martir, Ensenada, Baja California.

IMPACTO DE *Phellinus pini* (Brot.) Bondartsev & Singer EN BOSQUES DE *Pinus greggii* Engelm. DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN

IMPACT OF *Phellinus pini* (Brot.) Bondartsev & Singer IN *Pinus greggii* Engelm. FORESTS OF NUEVO LEON STATE

José G. Marmolejo¹, Heriberto Méndez Cortés¹ y César Cantú A.¹

RESUMEN

Phellinus pini es un hongo ampliamente distribuido en el hemisferio norte, el causante de la pudrición roja anular y el más importante que afecta a los árboles en pie de las pináceas. En años recientes se ha detectado la muerte de muchos ejemplares de *Pinus greggii* en el municipio de Santiago, N. L., lo que se atribuye a la acción de este organismo, con el consecuente deterioro de la masa arbolada del Parque Nacional Cumbres de Monterrey. Por esto, y debido al valor de los bosques de pino en el Estado, se plantearon como objetivos de estudio la determinación del impacto de *Phellinus pini*, su asociación con algunas variables silvícolas y la estimación del turno patológico. Se establecieron parcelas de muestreo circulares en varias localidades; se evaluó la presencia de pudrición mediante la toma de muestras por medio del taladro de Pressler y su posterior cultivo en cajas Petri en laboratorio. Se tomaron las variables silvícolas de todos los árboles muestreados para determinar los factores que favorecen la incidencia del agente causal y, por último, el turno patológico. La edad fue la variable de mayor correlación, que se confirma con los individuos de edad avanzada, sobre los cuales se advirtió el mayor daño. La incidencia y severidad fue de 11.66 y 12.3% respectivamente; el turno patológico propuesto es de 50 años.

Palabras clave: Incidencia, *Phellinus pini*, *Pinus greggii*, pudrición blanca, turno patológico, variables silvícolas.

ABSTRACT

Phellinus pini is widely distributed in the Northern Hemisphere, causes the red ring rot and is the most important agent that affects softwood trees. In recent years the death of many *Pinus greggii* examples has been detected in Santiago Municipality, Nuevo Leon State, which has been linked to it, with the resulting tree mass deterioration of the Monterrey Heights National Park. Thus, and due to what forests are worth in the State, the following objectives were proposed for this study: to determine the impact of *Phellinus pini*, its association with some forestry variables and the pathological rotation age. Circular sampling lots were placed in various locations; rottenness was assessed through samples taken by a Pressler boarer, and its eventual laboratory cultivation in Petri boxes. Forestry variables were taken from all the sampled trees to determine the factors that favor the incidence of this pathogen and, finally, the pathological rotation age. Age was the highest correlation variable, which was confirmed with the eldest examples, over which the most severe damages were observed. Incidence and severity were 11.66 and 12.3%, respectively; the pathological rotation age was 50 years.

Key words: Disease incidence, *Phellinus pini*, *Pinus greggii*, white rot, pathological rotation age, forestry variables.

Fecha de recepción: 16 de mayo de 2011

Fecha de aceptación: 4 de agosto de 2011

INTRODUCCIÓN

Los bosques de coníferas son frecuentemente atacados por organismos patógenos que se convierten en plagas y causan enfermedades que reducen el rendimiento de la producción de madera en pie. Entre ellos, los hongos inciden sobre la raíz, el fuste, las ramas y las hojas, provocando graves problemas.

INTRODUCTION

Evergreen or coniferous forests are frequently attacked by pathogenic organisms that become plagues and generate diseases that reduce the yield of wood production. Among them, fungi act in the root, stem, branches and leaves, causing serious problems.

¹ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: jmarmole@gmail.com.

Aun cuando muchas especies de ellos están adaptadas a vivir en pinos vivos, *Phellinus pini* (Brot.) Bondartsev & Singer (syn: *Fomes pini* (Thore) P. Karst.), está ampliamente distribuido en el hemisferio norte y es el responsable de la pudrición roja anular, y de la de árboles en pie en las pináceas (Haddow, 1938).

Esta especie es muy ubicua y tiene presencia cosmopolita (Blanchette, 1980), aunque Fisher (1994) asegura que no existe en Norteamérica. Se le ha identificado en asociación con más de 100 especies de aciculares (Larsen y Melo, 1996).

P. pini debe su éxito de colonización a su capacidad para degradar y mineralizar la lignina, prefiriendo las traqueidas de otoño por ser las más lignificadas (Blanchette, 1980); también lo hacen con la celulosa y la hemicelulosa en etapas avanzadas (Blanchette *et al.*, 1987), para lo cual estos hongos poseen un complejo de enzimas oxidasas y peroxidasas que usan para romper esas uniones complejas (Leandro *et al.*, 2003), ocasionando con ello una oxidación de los azúcares debido a la ruptura de estas moléculas (Rodríguez, 1998).

Este tipo de hongos se desarrolla con más frecuencia en árboles viejos (Basham y Morawsky, 1964); sin embargo, se registraron pudriciones en *Pinus banksiana* Lambert a los diecisiete años de edad (Blanchette, 1982). Esto se explica por la formación de duramen existente en el árbol, que varía según la especie; en algunas se inicia en los primeros años, mientras que en otras sólo se produce cuando alcanzan mayor edad o diámetros de cierta envergadura.

Por otra parte, la variación del diámetro del duramen aumenta desde la base del árbol hacia el DAP, para luego decrecer con la altura del fuste, lo que no siempre es posible advertir (Díaz-Vaz, 2003). La degradación del duramen puede ser tanto hacia arriba como hacia abajo de donde fue el punto de entrada del hongo, mientras que la pudrición en la albura es relativamente limitada (Basham, 1975).

García y Montero (1998) hicieron notar la escasez de trabajos sobre los factores que influyen sobre la incidencia de *P. pini*, y mencionan la edad, la altura, el área basal y el índice de sitio como los más relacionados con este tipo de pudrición.

En México, aunque se reconoce la importancia de *P. pini*, ningún estudio se ha hecho que detalle los síntomas, signos, impacto y manejo de los rodales afectados. Los hasta ahora conocidos sólo se han limitado al conocimiento de su distribución, teniendo registros bibliográficos en los estados de Hidalgo, Morelos, Nuevo León, Valle de México y Veracruz, aunque su distribución pudiera ser más amplia (Bandala *et al.*, 1993).

Even when many species of them are adapted to live in live pines, *Phellinus pini* (Brot.) Bondartsev & Singer (syn: *Fomes pini* (Thore) P. Karst.), is widely distributed in the North hemisphere and is responsible for the red ring rot and that of the stand-up trees of softwoods (Haddow, 1938).

This is a very ubiquitous and cosmopolitan species (Blanchette, 1980), even when Fisher (1994) assures that it does not exist in North America. It has been found in association with more than 100 species of needle-leaf species (Larsen and Melo, 1996).

P. pini colonization success is due to its ability to degrade and mineralize lignine, preferring autumn tracheids as they are more lignified (Blanchette, 1980); they also do with cellulose and hemicelluloses in advanced stages (Blanchette *et al.*, 1987), for which these fungi have an oxidase and peroxidase enzymes to break these complex unions (Leandro *et al.*, 2003), provoking an oxidation of sugars from the rupture of these molecules (Rodríguez, 1998).

This kind of fungi develops more frequently over old trees (Basham and Morawsky, 1964); however, rottenness were recorded on *Pinus banksiana* Lambert at 17 years old (Blanchette, 1982). This might be explained by the formation of heartwood in the tree, that varies according to the species; in some of them, it starts in the first years, while in others it only happens when they get older or attain diameters of some magnitude.

On the other hand, the variation of the diameter of heartwood increases from the base of the tree towards DBH, and becomes slender again as the stem gets taller, which is not easy to notice (Díaz-Vaz, 2003). The decrease of heartwood might be upwards or downwards from the point of entrance of the fungus, while the rottenness of sapwood is rather limited (Basham, 1975).

García and Montero (1998) underlined the lack of papers about the factors that influence the incidence of *P. pini*, and mention that those with greatest association to this kind of rottenness are age, height, basal area and site index.

Even if the importance of *P. pini* is acknowledged in Mexico, there is not a research study that details symptoms, signs, impact and management of the affected stands. Those known at present have been limited to distribution, with document records in the States of Hidalgo, Morelos, Nuevo Leon, Veracruz as well as in Valle de Mexico, even if it has a broader location (Bandala *et al.*, 1993).

In recent years, dead *Pinus greggii* trees Engelm. have been observed in Santiago Municipality, Nuevo León State, with the consequential severe damages to the tree mass; this is a very

En los últimos años se ha detectado la muerte del arbolado de *Pinus greggii* Engelm. en el municipio de Santiago, NL con los consecuentes graves daños a la masa arbolada, que es muy significativo porque esta es una especie de gran importancia ecológica en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. La causa de la mortalidad se atribuye a este hongo. Es por esto, y debido al valor de los bosques de pino en el estado, que los objetivos del estudio fueron la determinación del impacto de *Phellinus pini*, su asociación con algunas variables silvícolas y la estimación del turno patológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se delimitaron 120 parcelas circulares siguiendo el método propuesto por García y Montero (1998); que considera un diámetro de la parcela variable, pero que incluya 20 árboles. Cada una de ellas fue georreferenciada con la ayuda del GPS Margellan Triton 400, además se anotó la altura sobre el nivel del mar, exposición, fecha y pendiente con equipo convencional de medición.

De cada árbol se tomó el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura e inspección visual de su condición física, y se anotó la presencia de basidiocarpos, puntas rotas o muertas, bifurcadas, ramas muertas, cicatrices y resinaciones.

Dentro de cada parcela se sortearon al azar cinco árboles de cada uno de los cuales se obtuvieron dos muestras con el taladro de incremento (de Pressler Haglöf de 5.15mm/450 mm). Una de ellas fue tomada a 0.3 m y la otra a la altura del pecho (1.3 m); con este material se determinó la edad y el nivel de pudrición.

Se recolectaron los basidiocarpos que estaban creciendo sobre árboles vivos dentro de la parcela y se fotografiaron los signos y los síntomas.

Para tener la certeza de la presencia de *P. pini*, se analizaron las muestras obtenidas a 0.3 m, las cuales fueron debidamente etiquetadas y llevadas al Laboratorio de Patología y Micología Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL para su procesamiento. Por cada muestra (viruta) se extrajeron seis submuestras a lo largo de ésta y se aislaron en dos cajas Petri con extracto de malta agar al 2 %. Las cajas se mantuvieron en incubación por el tiempo necesario hasta la obtención de un desarrollo adecuado de las colonias. La identificación se realizó siguiendo las técnicas rutinarias en micología, tomando en cuenta las estructuras morfológicas, su crecimiento en medio de cultivo y la literatura especializada correspondiente (Gilbertson, 1974; Gilbertson y Ryvarden 1986, 1987; Marmolejo *et al.*, 1981). Dicha bibliografía se usó, igualmente, para determinar a los hongos recolectados en campo, después de haberlos deshidratado y herborizado. Se hicieron cultivos de referencia en extracto de malta agar al 2 % para compararlos con los cultivos obtenidos.

significant fact as this species is very important for ecological matters in Monterrey Heights National Park. The death of the trees has been attributed to this fungus. Thus, and from the great appreciation for this type of forests in the State, the aims of the actual study were to determine the impact of *Phellinus pini*, its relation to forestry variables and the assessment of the pathological rotation age.

MATERIALS AND METHODS

For this study, 120 circular plots were demarcated following García and Montero's (1998) method, which considers a variable diameter of each parcel, but that it includes 20 trees. Each one of the plots was located with a GPS; the following data were added: altitude, hillside, date and slope with conventional measurement equipment.

From each tree were taken DBH, total height and visual inspection of its physical condition, and the presence of basidiocarps, broken or dead tips, bifurcations, dead branches, scars or resin formations were recorded too.

Inside each plot were selected five trees at random, from which two samples were obtained by means of a Pressler borer. One of them was taken at 0.3 m and the other one at breast height (1.3 m); they were used to determine age and degree of rottenness.

The basidiocarps growing on live trees in the lot were collected and their signs and symptoms were photographed.

In order to be sure of the presence of *P. pini*, the samples taken at 0.3 m were analyzed, which were duly labeled and taken to the lab for their processing. For each sample (core) six subsamples were taken along it and were isolated into two Petri boxes that contained malt agar at 2%. The boxes were incubated for the necessary time to get the right development for the colonies. Identification was accomplished by means of the regular mycological techniques, taking into account the morphological structures, their growth in cultivation media and specialized literature (Gilbertson, 1974; Gilbertson and Ryvarden 1986, 1987; Marmolejo *et al.*, 1981). This bibliography was used, as well, to determine the identification of the fungi recollected at the field from their macro and microscopic structures, after they were dried and herborized. Reference cultivations were made over malt agar at 2%, in order to compare them with the cultures obtained.

The combined information was used to quantify the disease through incidence and severity. Incidence is defined as the number of plant units that are visually sick, generally, in regard to the total assessed number (Madden and Hughes, 1995); it is calculated as per cent or relation of sick plants in a sample or population, starting from the assessment

La información conjunta se empleó para cuantificar la enfermedad mediante la incidencia y severidad. La incidencia se define como el número de unidades de la planta que están visiblemente enfermas, por lo general en relación al número total evaluado (Madden y Hughes, 1995); se determina mediante porcentajes o proporción de plantas enfermas en una muestra o población, partiendo de la evaluación de parámetros sintomatológicos a nivel individual, tales como: hojas cloróticas, desecación apical, presencia de basidiocarpos y la resinación producida, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia (I)} = \frac{\text{Número de plantas o partes de plantas afectadas} \times 100}{\text{Número total de plantas o partes de plantas observadas}}$$

La severidad determina el nivel de intensidad de una crisis fitopatológica con el fin de estimar la efectividad de las prácticas de manejo del problema para toma de decisiones (Nutter *et al.*, 1993). Esta severidad expresa la proporción del tejido afectado por la enfermedad y se obtiene mediante la observación de las muestras sacadas a 1.3 m. Con este dato y mediante una escala de severidad propuesta por García y Montero (1998), se conoció el grado en que estaban dañados esos árboles (Cuadro 1). Con estos datos, se aplicó la siguiente fórmula para calcular esa proporción:

$$\text{Severidad (S) (\%)} = \frac{\text{Sumatoria (Número de plantas} \times \text{cada grado de afectación)} \times 100}{\text{Número de plantas evaluadas} \times \text{grado mayor}}$$

Cuadro 1. Escala de severidad para *Phellinus pini* (García y Montero, 1998).
Table 1. Severity scale for *Phellinus pini* (García and Montero, 1998).

Nivel	Características
0	Ausencia de ataque.
1	Ataque incipiente. La pérdida de lignina afecta únicamente a los anillos más internos, sin que se desborne la muestra.
2	Ataque intermedio. La infección no rebasa la mitad interna del radio, aunque los anillos centrales pueden estar convertidos en aserrín.
3	Ataque intenso. Sólo se mantienen sanos los anillos más exteriores.

Para determinar las variables independientes asociadas a la pudrición blanca, se tomaron en cuenta el diámetro, la altura, la edad y la calidad de sitio de las parcelas. La edad se estimó mediante el conteo de anillos de las muestras tomadas a 1.3 m. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados estadísticamente por medio de análisis de regresión utilizando el programa Statistica (7.1) (StatSoft, 2005).

Las variables altura, diámetro y edad se analizaron mediante el modelo de regresión lineal simple, mediante el método de mínimos cuadrados para determinar el coeficiente de correlación, de determinación, error estándar absoluto y el

de symptomatological parameters at an individual level, such as: chlorotic leaves, apical desiccation, basydiocarps and resin formation, using the following formula:

$$\text{Incidencia (I)} = \frac{\text{Number of plants or parts of damaged plants} \times 100}{\text{Total Number of plants or parts of observed plants}}$$

Severity determines the degree of intensity of a phytopathologic problem in order to estimate the effectiveness of the management of the problem to make decisions (Nutter *et al.*, 1993). This severity expresses the proportion of affected tissue by disease and is determined by the visual observation of the samples obtained at 1.3 m. With this number and through the severity scale proposed by García and Montero (1998), the degree of damage of these trees was known (Tabla 1). With this data, the following formula was applied to calculate that relation:

$$\text{Severidad (S) (\%)} = \frac{\text{Sum (Number of plants} \times \text{each degree of damage)} \times 100}{\text{Number of assessed plants} \times \text{highest degree}}$$

To determine the independent variables associated to White speck, tree diameter, height, age and site quality were taken into account in each of the lots. Age was estimated by counting the tree-rings of the samples taken a 1.3 m. The resulting data were processed and statistically analyzed by a regression analysis using the 7.1 Statistica program (Statsoft, 2005).

Height, diameter and age variables were analyzed by the simple linear regression model, by the minimum square method to determine the correlation coefficient, determination coefficient, absolute standard error and percentage error. The simple linear model that was used was the following:

$$Y = \alpha + \beta X$$

Where:

- Y = incidence of disease
- X = Variable of interest

porcentual. El modelo lineal simple utilizado fue el siguiente:

$$Y = \alpha + \beta X$$

Donde:

Y = incidencia de la enfermedad

X = Variable de interés

α = Intercepción al origen

β = Pendiente de la recta

Se construyeron curvas anamórficas de índice de sitio con el objetivo de establecer la capacidad productiva de estos bosques y la relación que tiene con la pudrición blanca. Esta capacidad está en función de la edad y altura de los árboles y para ello se utilizaron cuatro modelos matemáticos no lineales descritos por Kiviste *et al.* (2002), y se eligió aquel que tuviera mayor ajuste con base al cuadrado medio residual, coeficiente de determinación, desviación estándar residual y coeficiente de variación. Los modelos fueron los siguientes:

Korsun $h = \exp(\alpha + \beta_1 \ln(t) + \beta_2 \ln(t)^2)$

Schumacher $h = \exp(\alpha + \beta_1 t - 1)$

Logarítmica $h = \alpha + \beta_1 \ln(t)$

Van Laar $h = \exp(\alpha + \beta_1/t + \beta_2/t^2)$

Donde:

h= altura

t= años

exp = exponente

$\alpha + \beta$ = parámetros del modelo

El turno patológico se define como la edad a la cual el árbol pierde lo mismo por pudrición de la madera que lo que gana por incremento anual. Para calcularlo fue necesario tomar en cuenta la severidad presentada a nivel individual, con la finalidad de conocer la proporción de árboles con daño en las diferentes categorías de edad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al hacer las comparaciones entre las colonias de las submuestras y aquellas que provenían de los basidiocarpos, se observó que *Phellinus pini* es el agente causal de la pudrición y mortandad de los árboles de *Pinus greggii*, y se determinó que las colonias fueron iguales morfológicamente. Se identificó un caso en el cual *Phellinus chrysoloma* (Fr.) Donk estaba generando una pudrición central, pero no representó un problema económico para esos bosques.

α = Interception at the origin

β = Slope of the straight line

Site index anamorphic curves were constructed with the aim of determining the productive ability of these forests and its relation with White rotteness. This potential is linked to age and tree height, and thus, four mathematical non-linear models described by Kiviste *et al.* (2002) were used, and it was selected that which had the greatest fit based upon the residual mean square, coefficient of determination, residual standard deviation and coefficient of variation. The models that were used are the following:

Korsun $h = \exp(\alpha + \beta_1 \ln(t) + \beta_2 \ln(t)^2)$

Schumacher $h = \exp(\alpha + \beta_1 t - 1)$

Logarithmic $h = \alpha + \beta_1 \ln(t)$

Van Laar $h = \exp(\alpha + \beta_1/t + \beta_2/t^2)$

Where:

h= height

t= years

exp = exponential

$\alpha + \beta$ = parameters of the model

Pathological rotation age is defined as the age at which the tree loses as much from wood rotteness as it gains by annual increment. In this sense, it was necessary to take into account the severity that each individual showed, and thus, to know the amount of trees with damages in different age categories.

RESULTS AND DISCUSSION

When comparisons were made among the colonies of the subsamples and those that came from basidiocarps, it was observed that *Phellinus pini* is the causing agent of the rotteness and death of *Pinus greggii* trees and it was found that the colonies were morphologically the same. A case where *Phellinus chrysoloma* (Fr.) Donk was generating a central rotteness was detected, but it was not an economic problem for those forests.

Incidence was different among lots, with an average of 11.66%. Trees under 30 years old did not show any damages at all; however, as age increased so did the incidence, which reached 25% in 50 to 60 year- old trees (Figure 1).

The severity of the attack by *Phellinus pini* in *Pinus greggii* trees was similar to the incidence; it provoked a 12.38% loss of wood from standing trees from the damage inflicted to the heartwood of the most internal tree-rings. Trees under 30 years

La incidencia fue diferente entre parcelas, de 11.66 %, en promedio. Los árboles menores a 30 años no presentaron ninguna manifestación de daños, sin embargo, conforme aumentó la edad, la incidencia fue mayor, pues a partir de 50 a 60 años o más, llegó a 25 % (Figura 1).

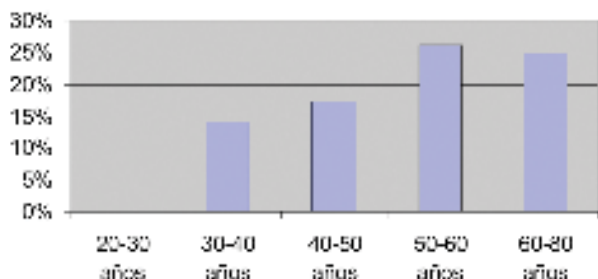


Figura 1. Porcentaje de incidencia ocasionado por *Phellinus pini* sobre *Pinus greggii*.

Figure 1. Incidence per cent caused by *Phellinus pini* over *Pinus greggii*.

La severidad del ataque por *Phellinus pini* en árboles de *Pinus greggii* fue similar a la incidencia; esta severidad causó una pérdida de madera en pie de 12.38 % por el daño que infligió en el duramen de la madera de los anillos más internos. De igual manera, árboles menores a 30 años, no presentaron afectaciones, pero la destrucción de material estructural se incrementó con la edad, alcanzando valores de hasta 26 % en árboles de 60 a 80 años de edad (Figura 2).

La mayor frecuencia de edades se observó en años menores a la media (Figura 3); si hubiera mayores frecuencias en edades avanzadas, tanto la incidencia como la severidad aumentarían considerablemente.

Es probable que uno o más factores estén interactuando con la pudrición blanca; sin embargo, en esta investigación no se consideran aquellos de tipo abiótico y se enfocó el interés en las variables dasométricas a nivel de rodal como altura, diámetro, edad y calidad de sitio, con una correlación positiva en todos los casos, siendo diferente en cada una de ellas.

La altura presentó una media de 13.43 m, con valores máximos y mínimos de 29.2 y 6.2 respectivamente, y una desviación estándar de 2.9; sin embargo, el valor de correlación fue de 63.77 % y el coeficiente de determinación de 40.67 % (Cuadro 2), lo que indica que la incidencia puede estar influida por otros factores.

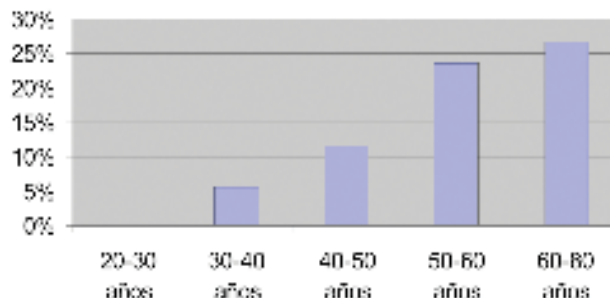


Figura 2. Porcentaje de severidad ocasionado por *Phellinus pini* sobre *Pinus greggii*.

Figure 2. Severity per cent caused by *Phellinus pini* over *Pinus greggii*.

old did not show any damages, as well, but the destruction of structural matter increased with age, up to 26% in trees from 60 to 80 years old (Figure 2).

The highest age frequency was observed in years under the

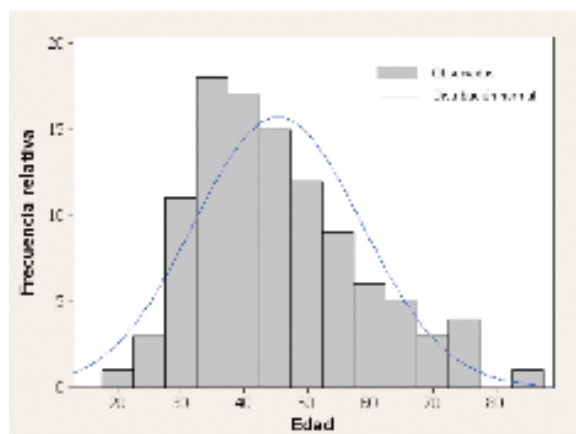


Figura 3. Distribución de frecuencias en la edad de *Pinus greggii*.

Figure 3. Age frequency distribution of *Pinus greggii*.

average (Figure 3); if there were greater frequencies in elder years, the incidence of both, incidence and severity, would considerably increase.

Probably one or more factors are interacting with the White speck; however, in this research are not considered those of abiotic type and interest was focused on dasometric variables at stand level, such as height, diameter, age and site quality, with a positive correlation in all cases, being different in every one of them.

Cuadro 2. Análisis de regresión para evaluar la relación de la incidencia con algunas variables.
Table 2. Regression analysis to assess the relation of incidence with some variables.

Estadísticas de la regresión	Altura	Diámetro	Edad
Coefficiente de correlación múltiple	63.77 %	78.64 %	92.85 %
Coefficiente de determinación R ²	40.67 %	61.84 %	86.21 %
R ² ajustado	36.43 %	60.11 %	84.48 %
Error típico	18.55 %	18.96 %	6.0 %

El diámetro de los árboles presentó una media de 28 cm, 15 como valor mínimo y 71 cm como máximo y una desviación estándar de 8.28 %. No se tomaron en cuenta árboles menores a 15 cm de diámetro para efecto de este estudio, ya que están poco desarrollados o son muy jóvenes, y, por lo general, no portan manifestaciones de pudrición central. Esta variable presentó una mayor correlación que la altura y, por ende, un mayor coeficiente de determinación, con valores de 78.64 y 61.84 %, respectivamente (Cuadro 2).

La edad tuvo una influencia mucho mayor que las dos variables anteriores, ya que su correlación fue de 92.85 %, un coeficiente de determinación del 86.21 y un bajo error; por ello, se considera que la incidencia de la enfermedad está estrechamente relacionada con la edad, tal y como lo mencionaron García y Montero (1998) (Cuadro 2). El valor medio de la edad fue de 45 años, con intervalos de 20 y 26 años y una desviación estándar del 13 %.

La relación existente entre incidencia e índice de sitio fue baja. El modelo utilizado fue el de Korsun, debido a que es el que mejor se ajustó a los datos y, con base en ello, se construyeron las líneas guías, a partir de tres calidades de sitio. Al analizar los datos, se observa que el índice de sitio no es un indicador de la presencia de *Phellinus pini* sobre *Pinus greggii*, debido a que la enfermedad se pudo constatar tanto en sitios con índices buenos, como en aquellos con un índice de sitio muy bajo (Figura 4).

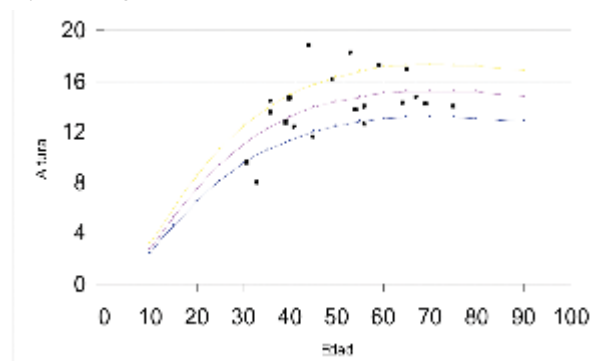


Figura 4. Curvas de índice de sitio para *Pinus greggii*.

Figure 4. Site index curves for *Pinus greggii*.

Height had a 13.43 m average, with maximum of 29.2 and minimum of 6.2 m, and 2.9 as standard deviation; however, the correlation value is 63.77% and the coefficient of determination 40.67% (Table 2), which means that the incidence may be influenced by other factors.

Tree diameter had an average of 28 cm, 15 as the minimum and 71 as the maximum values, and a standard deviation of 8.28%. Trees with diameters below 15 cm were not taken into account, as they are underdeveloped or are very young, and regularly, do not bear signs of central rotteness. This variable showed a stronger correlation than height, and, thus, a higher coefficient of determination, with values from 78.64 and 61.84%, respectively (Table 2).

Age had a greater influence than the other two previous variables, as its correlation was of 92.85%, a coefficient of determination of 86.21 and low error; thus, it considered that the incidence of disease is closely related to age, as mentioned by García and Montero (1998) (Table 2). 45 years old was the average age, with ranges of 20 and 26 years and a standard deviation of 13%.

The relation between incidence and site index was low. The model that was used was that of Korsun, since it had the best fitness for the data, and upon that basis, the guide lines were constructed, starting from three site qualities. As data are analyzed it becomes evident that site index is not an indicator of the presence of *Phellinus pini* over *Pinus greggii*, since the disease was observed in places with good indexes as well as in other with a very low site index (Figure 4).

To calculate the pathological rotation age it was considered the severity of the damage that this fungus provokes to the wood of standing trees. In Figure 5 can be noticed that the loss of this product changes as different age categories appear, being the most critical those trees elder than 50 years old, since from then onwards, the value is 45.7%, almost half of what is gained by increment. Thus, this individuals are considered the most susceptible to be attacked by *P. pini*, which makes this turn similar to that proposed by Baudin (1963) over *Pinus pinea* L., in which wood loss increased almost by 50%.

Para determinar el turno patológico, se tomó en cuenta la severidad del daño que este hongo causa en madera en pie. En la Figura 5 se puede advertir que los porcentajes en pérdida de este material cambian conforme se surgen diferentes categorías de edad, siendo el punto más crítico los árboles mayores a 50 años, ya que a partir de entonces el valor es de 45.7 %, casi la mitad de lo que se gana en incremento. Es por esto que estos individuos son considerados los más susceptibles a ser atacados por *P. pini*, lo que asemeja a este turno al propuesto por Baudin (1963) sobre *Pinus pinea* L., en el que la pérdida de madera se incrementaba casi en 50%.

CONCLUSIONES

Phellinus pini es el causante de la mortalidad del arbolado de *Pinus greggii* en los bosques de pino estudiados del estado de Nuevo León, lo que se manifiesta en resinaciones, pudrición central, presencia de basidiocarpos, puntas muertas y clorosis.

La incidencia y la severidad estuvieron fuertemente influidas por las diferentes categorías de edad, la más intensa se registró en árboles de edad avanzada y los jóvenes menores a 30 años no mostraron problemas. Aunque la relación existente se dio en las tres variables (altura, diámetro y edad), la edad fue la que evidenció una mayor correlación con la incidencia de la enfermedad, lo que indica que el problema aumenta mientras la edad de los árboles avanza. La calidad del sitio no tuvo ningún efecto en la presencia de *P. pini*.

Se estimó un turno fitopatológico de 50 años.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la CONAFOR (Proyecto: CONAFOR-2003-C03-10178) por el apoyo otorgado para la realización de este estudio.

REFERENCIAS

- Bandala, V. M., G. Guzmán y L. Montoya 1993. Los hongos del grupo de los poliporáceos conocidos en México. Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Linares, N.L. Reporte Científico No. Esp. 13: 1-55;
- Basham, J. T. and Z. J. R. Morawski. 1964. Cull studies. The defects and associated basidiomycete fungi in the heartwood of living trees in the forests of Ontario. Canadian Department of Forestry, Publication 1072, Contribution 1043. Ottawa, Ontario, Canada. 67 p.
- Basham, J. T. 1975. Heart rot of jack pine in Ontario. IV. Heartwood-inhabiting fungi, their entry and interactions within living trees. Can. J. For. Res. 5: 706-721.
- Baudin, F. 1963. Transformación de las masas de *Pinus pinea* atacadas por el *Trametes pini*. Actas de la II Asamblea Técnica forestal. MAPA, Madrid 112-114.
- Blanchette, R. A. 1980. Wood decomposition by *Phellinus (Fomes) pini*: a scanning electron microscopy study. Can. J. Bot. 58: 1496-1503.
- Blanchette, R. A. 1982. *Phellinus (Fomes) pini* decay associated with sweetfern rust in sapwood of jack pine. Can. J. For. Res. 12: 304-310.

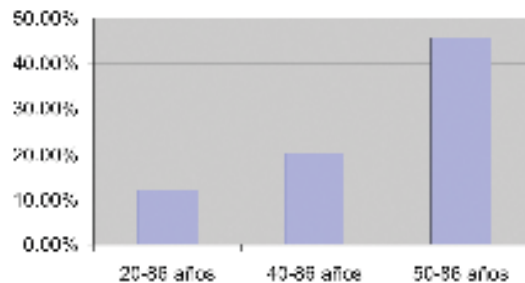


Figura 5. Porcentaje de severidad para estimar el turno patológico.

Figure 5. Severity per cent to estimate the pathological rotation age.

CONCLUSIONS

Phellinus pini is responsible for the death of trees of *Pinus greggii* in the pine forests that were studied at Nuevo Leon State, which becomes apparent from resin formations, central rotteness, basydiocarpos, dead tips and chlorosis.

Incidence and severity were strongly influenced by the different age categories, being the most intense in elder trees, and the young ones below 30 years old, showed no damages at all. Even when the relation was confirmed with the three variables (height, diameter and age), age seemed to have the greatest correlation with the incidence of disease, which means that the problem rises as age does. Site quality had no effect upon the presence of *P. pini*.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors want to thank CONAFOR (Project Number CONAFOR-2003-C03-10178) for the financial support provided to accomplish the actual study.

End of the English version

- Blanchette, R. A., L. Otjen and M.C. Carlson. 1987. Lignin distribution in cell wall of birch wood decayed by white rot Basidiomycetes. Phytopathology, 77: 684 - 690.
- Cartwright, K. S. G. and Findlay W.P.K. 1950. Decay of Timber and its prevention. Chemical Publ. Co., Brooklyn, NY, USA. 294 pp.
- Díaz-Vaz, J. E. 2003. Anatomía de maderas. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 150 p.
- Fischer, M. 1994. Pairing tests in the *Phellinus pini* group. Mycologia 86(4): 524-539.
- García, G., C. y G. Montero 1998. Influencia de ciertas variables selvícolas en la pudrición provocada por *Phellinus pini* sobre *Pinus pinea*. Invest. Agr.: Sist. Recurs. For. 7(1, 2): 204-218.
- Gilbertson, R. L. 1974. Fungi that decay Ponderosa Pine. The University of Arizona Press, Tucson, AZ USA. 197p.

- Gilbertson, R. L. and I. Ryvarden. 1986. North American Polypores. I. Abortiporus-Lindtneria. Fungiflora. Oslo, Norway. pp. 1-433
- Gilbertson R. L. and I. Ryvarden 1987. North American Polypores. II. Megasporoporia-Wrightoporia. Fungiflora. Oslo, Norway. pp. 434-835
- Haddow, R. 1938. On the classification, nomenclature, hosts and geographic range of *Trametes pini* (Thore) Fries. Transactions of the British Mycological Society 22: 182-93.
- Kiviste, A., J. G. Álvarez G., A. Rojo y A. D. Ruiz G. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Monografías INIA: Forestal N° 4. Madrid, España. 190 p.
- Larsen, M. J. and I. Melo. 1996. Neotypification of *Phellinus pini*. Mycologia 88(5): 839 - 843.
- Leandro P., V., L. Diorio y F. Forchiassin. 2003. Degradación de madera de álamo por *Fomes sclerodermus*: producción de enzimas ligninolíticas en aserrín de álamo y cedro. Revista Iberoamericana de Micología 20: 16-20.
- Madden, L. V. and G. Hughes 1995. Plant disease incidence: distributions, heterogeneity and temporal analysis. Annu. Rev. Phytopathol. 33: 529-564.
- Marmolejo J., G., J. Castillo y G. Guzmán. 1981. Descripción de especies de Teleforáceos poco conocidas en México. Boletín de Sociedad Mexicana de Micología 15: 9-66.
- Melo, R. y J. Paz. 1978. Procesos de obtención de celulosa a partir de madera de *Eucalyptus globulus* Labill. Parte V. Proceso al Sulfito Neutro. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 46 p.
- Nutter, F. W., M. L. Gleason, J. H. Jenco and N. C. Christians 1993. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. Phytopathology 83(8): 806-812.
- Otjen, L. and Blanchette R. A. 1986. A discussion of microstructural changes in wood during decomposition by white rot basidiomycetes. Can. J. Bot. 64: 905-911.
- Rodríguez B., J. 1998. Patología de la madera. Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 349 p.
- StatSoft. 2005. Statistica (7.1). StatSoft, Inc. Tulsa, Oklahoma, USA. s/p.



José Villanueva Díaz (2010). Paraje con dominancia de *Abies discolor*, ubicado a un costado del Observatorio en el Parque Nacional "San Pedro Martir", Ensenada, Baja California.

VALORACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN VERACRUZ (COATEPEC Y SAN ANDRES TUXTLA)

SOCIOECONOMIC ASSESSMENT OF HYDROLOGIC ENVIRONMENTAL SERVICES IN VERACRUZ (COATEPEC AND SAN ANDRÉS TUXTLA)

Ana Lid del Ángel Pérez¹, José Alfredo Villagómez Cortés¹ y Gabriel DÍaz Padilla¹

RESUMEN

Se trabajó en las poblaciones de San Andrés Tuxtla y Coatepec, en el estado de Veracruz, México, que representan zonas que han recibido pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) desde el año 2004. El objetivo fue analizar el impacto socioeconómico del PSAH en función del mercado local de agua, obtener las percepciones sociales del valor del agua y el posible impacto de la aplicación del PSAH. Se utilizó análisis etnográfico, sociológico y valoración contingente en una muestra de 171 consumidores en Coatepec y 228 en San Andrés, así como 85 productores, 45 de ellos de Coatepec. Los resultados mostraron que la población privilegia los valores económicos de los paisajes que componen las zonas de pago. Existe un fuerte potencial para incorporar el reconocimiento social en la generación de servicios ambientales, lo que podría incrementar el pago a los productores para observar un impacto socioeconómico real del PSAH. Se identificaron diferencias entre los actores respecto a valor de un m³ de agua, tanto dentro como entre zonas, ya que los valores fiscales de referencia y del productor fueron mayores en Coatepec. Los programas de conservación y las políticas públicas inherentes deberán considerar la voluntad de todos los actores sociales para obtener un impacto visible.

Palabras clave: Agua, disposición a pagar, mercado, percepciones sociales, PSAH, servicios ambientales

ABSTRACT

Some areas in San Andres Tuxtla and Coatepec, Veracruz State, Mexico, that have received payment for hydrological environmental services (PHES) since 2004 were studied. The objective was to analyze PES's socioeconomic impact through its effects on the local market for water, to grasp social perceptions about water value, and to assess the possible impact of implementing PES. Ethnographic, sociological, and contingent valuation analysis were used in a sample of 171 consumers from Coatepec, and 228 from San Andres, as well as a total number of 85 producers, 45 of whom come from Coatepec. Results showed that the public admits an economic value for landscapes where PES are paid. There is a strong potential to incorporate social recognition in the production of environmental services. Differences were found in the value of a cubic meter of water among stakeholders within and between areas, since producer and government stated values were higher in Coatepec. Future environmental conservation programs and public policies should consider the will of all stakeholders to be able to produce visible outcomes.

Key words: Water, willingness, market, social perceptions, PHES, environmental services.

Fecha de recepción: 16 de mayo de 2011

Fecha de aceptación: 5 de julio de 2011

¹ Campo Experimental Cotaxtla, Centro de Investigación Regional Golfo Centro. INIFAP. Correo-e: delangel.analid@inifap.gob.mx

² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de la sostenibilidad constituyen puntos medulares de preocupación social, entre otros aspectos sobresalen: la contaminación del agua, el aire y el suelo, así como la pérdida de la biodiversidad y la disminución de la cubierta forestal, por lo cual destacan actividades productivas con bajo impacto en el ámbito de la conservación. La preocupación por mejorar la calidad de vida se funda en la idea de mantener los productos y servicios que el ambiente presta a la humanidad; por su disposición como bienes públicos, es relevante la participación social en su reconocimiento y valoración.

Todo lo anterior cobra importancia ya que las actividades económicas suelen tener cierto efecto sobre el bienestar de la sociedad, más allá de las repercusiones en producir y consumir bienes. La teoría económica establece que para retener las bondades de eficiencia en asignación de recursos para la generación y uso de los bienes y servicios que resultan de una operación de mercado, las externalidades deben ser tomadas en cuenta (Cacho, 2001); es decir, idealmente, ser internalizadas a los procesos de producción por el productor, aunque también se obtienen balances cercanos a cero, si se integra al proceso de consumo. De hecho, cuando se opera sin interferencia, el mercado llega a un punto intermedio Pareto-eficiente, en el cual parte del costo externo termina como costo de producción, y otra se transfiere al consumidor en el precio del producto, con ajustes a los montos producidos y de los factores requeridos para obtenerlos (Driesen, 2009; Randall, 1981).

La política ambiental mexicana presenta una salida al dilema de las externalidades al manejar ciertas compensaciones al productor por el Estado y por tanto, a la sociedad afectada (Bovenberg *et al.*, 2008). Así, el gobierno ha tomado la decisión estratégica de reconocer las externalidades ambientales que son producto del manejo de los ecosistemas forestales y agroforestales. La estrategia elegida ha sido el subsidio, con fondos públicos como mecanismos de mercado (Driesen, 2009), a los propietarios cuyas tierras contienen la cobertura natural considerada compatible con la producción de Servicios Ambientales, en este caso, con énfasis en la conservación de los recursos hidrológicos.

El Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) reconoce a los productores de activos forestales y es coordinado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2006). En la actualidad, se centra en las áreas prioritarias, sea por su localización, su importancia en la producción de estos servicios, o su beneficio a poblaciones mayores a 5,000 habitantes. El programa otorgó en el periodo 2004-2006 de \$300.00 a \$400.00 ha año⁻¹, y su objetivo fue constituirse en un incentivo para que los dueños o

INTRODUCTION

Issues raised in attempts to reach sustainability have become concerns for society. Water, air and soil pollution are among those issues. Loss of biodiversity and decline of forest land cover is another one. This is why low impact productive activities bear increasing importance for conservation. The goal of improved quality of life rests on the idea of sustaining the stream of products and services that the environment provides to humanity; as they are public goods, social participation is relevant in its acknowledgement and assessment.

These issues and concerns have become important because economic activities influence the welfare of the population beyond the immediate repercussions from producing and consuming goods. Economic theory dictates that externalities must be considered in order to benefit from the theoretical virtues of resource allocation efficiency (Cacho, 2001); that is, ideally, externalities should be internalized as costs in the production process. A similar stable balance occurs when externalities are passed on to the consumer. In fact, market dynamics reaches a Pareto-efficient point when part of the externality effect is taken as a production cost, and the rest is transferred to the product price paid by consumers; this condition entails adjustments to the actual volume produced and to the quantity of factors demanded to produce it (Driesen, 2009; Randall, 1981).

Mexican environmental policy offers a way out to the problem of externalities through compensations the State pays to the producer, and through them to those individuals impacted (Bovenberg *et al.*, 2008). The Mexican government has taken the strategic decision to acknowledge that environmental externalities are the result of forest and agro-forest ecosystems management. The chosen approach to deal with this failure involves market intervention through public subsidies (Driesen, 2009). Money is given to owners whose lands bear a natural cover that is considered to provide environmental services; in this case the service refers to hydrologic resources conservation.

The Hydrologic Environmental Services Program (HESP) is a program addressing active producers and is operated by Comisión Nacional Forestal (National Forest Commission (CONAFOR, 2006). Currently it focuses on priority areas selected for their location, ample capacity to influence water resources, or being part of watersheds that serve cities larger than 5,000 population. The program offered a yearly rent between MEX\$300 and MEX\$400 (USD\$25 - USD\$33), per hectarea and year. PSAH aim was to become an incentive to maintain a continuous crown cover, and to modify land management practices to bring them closer to sustainable. Most areas in the program involve forest land, and shade coffee plantations. Owners in the program are expected to follow stewardship guidelines to increase the quality of environmental services they provide.

poseedores de predios de las zonas señaladas mantuvieran, en determinado porcentaje del terreno, la densidad del dosel forestal, o bien modificaran sus prácticas productivas a otras más sustentables. Como resultado, una gran proporción de las áreas de pago son bosques o sistemas agroforestales como café de sombra, donde el compromiso de los productores para mantener un dosel supone una forma de incrementar la calidad de los servicios ambientales generados en la zona de pago. El PSAH que inició en 2003 y en sus reglas de operación y términos de referencia estableció, que además de ser un área prioritaria, tenía que beneficiar a grupos étnicos, fomentar la igualdad de género y fortalecer la organización tradicional de las comunidades. Entre otros, los municipios de Coatepec y San Andrés Tuxtla en Veracruz fueron favorecidos por el programa en 2003 y 2004, respectivamente. Sin embargo, aunque la CONAFOR mantiene un programa de seguimiento de los proyectos aprobados en todo el país, no se tiene un análisis exacto de los beneficios socioeconómicos del programa.

Los resultados esperados del PSAH corresponden en parte a los efectos directos en las decisiones de manejo de las tierras con subsidio, en comparación con aquellas carentes de él. Por lo cual, también es necesario analizar el impacto sobre el bienestar social (Gómez, 1996), por efecto del gasto gubernamental en este programa. El cambio es consecuencia del uso de los fondos fiscales para el pago, bajo el supuesto vigente de gasto público estático al valor real. Otro punto a evaluar, es el cambio esperado de la calidad de los recursos naturales, con énfasis en los hidrológicos, atribuibles al programa de subsidios. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar el impacto socioeconómico del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos, en función del mercado local de agua, en las zonas de pago de Coatepec y en San Andrés Tuxtla, Ver.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en los municipios de Coatepec y San Andrés Tuxtla, Ver., puesto que son áreas que fueron beneficiadas con PSAH en los años 2003 y 2004, y bajo la premisa de que posiblemente podrían observarse algunos impactos del programa en 2006.

Coatepec se localiza en las estribaciones del Cofre de Perote a una altitud promedio de 1,739 m, y dependiendo de la altitud, el clima varía de semicálido húmedo y subhúmedo a templados húmedos y semifríos; el uso del suelo comprende bosques y selvas (49%) que incluyen coníferas, bosque mesófilo, selva mediana y selva baja, con evidencias de disturbio en riqueza ecológica y superficie arbolada; contiene también pastizales (25%), áreas agrícolas (21%) y asentamientos urbanos (5%). Una característica relevante es el establecimiento de cafetales bajo el dosel, cuya actividad económica es la más importante del municipio (del Ángel *et al.*, 2006a;

HESP began operating in 2003. The earlier rules defined that only eligible zones will be considered. Places owned by ethnic groups were given priority, and similar priority was also given to cases with improved equality of gender, and to those offering strengthening traditional community organization. Land owners in Coatepec and San Andrés Tuxtla, municipalities of Veracruz State, were among the HESP recipients in 2003 and 2004.

Although CONAFOR has a HESP follow up program, currently the program socioeconomic impact has not been reported.

HESP subsidy is clearly intended to change land owner management policies, relative to policies in lands not in the program. Because of the public nature of HESP funding, implications on efficiency in government spending make HESP social welfare impact an issue worth researching (Gómez, 1996). It is assumed that the use of public funds to pay for environmental services will bring complex effects, given that government spending is fixed in real terms. The quality of natural resources, and particularly, the effect of HESP in water resources is one more point to evaluate. Hence, this paper presents research analyzing the socioeconomic impact of the hydrologic services payment program in Coatepec and San Andrés Tuxtla, Veracruz, Mexico, respect to the local water market.

MATERIALS AND METHODS

Multiple ownerships in Coatepec and San Andrés, Ver. were in the HESP program in 2003 and 2004. Several of these cases were studied in 2006 to see if any impact might be detected by then.

Coatepec is located on the piedmont of Cofre de Perote Mountain. Elevation reaches 1,739 m on average. Climate varies with altitude, starting from semi-warm humid in the lowlands, and becomes temperate humid and semi-cold upland. Predominant land use is forest (49 %). Vegetation includes conifer and cloud forests, low and medium tropical forest. Some degree of disturbance is apparent in the ecological richness of low tropical forest. Reduction in area is also evident in this region's tropical forests. Grassland (25 %), agriculture (21 %), and urban land use (5 %) are the most frequent developed land covers. Shade grown coffee plantation is a characteristic and economically important land cover in this municipality (del Ángel *et al.*, 2006b; del Ángel *et al.*, 2011).

San Andrés Tuxtla is a location within Los Tuxtlas natural protected area. Several conservation proposals have been drafted for this region since 1937. San Andrés is part of the mountain slopes descending from San Martín Tuxtla volcano. Runoff from the mountain drains into several watersheds, and

del Ángel *et al.*, 2011). San Andrés Tuxtla forma parte del área natural protegida de Los Tuxtlas, donde se han llevado a cabo iniciativas de conservación desde 1937. Se localiza en las faldas del volcán San Martín Tuxtla y sus corrientes de agua descargan en diferentes vertientes, que constituyen la principal fuente de agua para el municipio, y de la que se benefician diversas poblaciones de los valles subyacentes. Las actividades principales son la explotación de maderas preciosas, la ganadería bovina y la agricultura (del Ángel *et al.*, 2008).

El PSAH, favoreció a productores de café en Coatepec, así como a ganaderos y productores forestales en San Andrés Tuxtla. La investigación combinó el uso de herramientas etnográficas como las entrevistas estructuradas bajo los criterios de agua-dosel-calidad de vida, es decir, se orientó a los entrevistados a tales variables; así mismo se aplicaron cédulas de encuesta sociológica y técnicas de economía ambiental como el Método de Valoración Contingente (MVC) (Turpie, 2003) e información secundaria para construir el valor del agua para los diferentes actores sociales de cada zona. La combinación de varios métodos permitió capturar la complejidad de los valores del mercado de agua y paisaje regional (Pouta *et al.*, 2002). Se aplicaron 228 cédulas de encuesta en San Andrés Tuxtla y a 171 en Coatepec, en un muestreo al azar estratificado, con una estructura proporcional similar a la de la población, según consignan las estadísticas oficiales de INEGI (2005), con relación a género, edad, educación, lugar de residencia e ingresos. Se eligieron individuos mayores de 16 años asumiendo que son personas informadas y con un juicio propio e independiente sobre el ambiente, uso de la tierra y las circunstancias locales. Se eligieron 17 localidades en el área de bosque mesófilo en Coatepec, y siete enclavadas en las laderas del volcán San Martín Tuxtla, en San Andrés Tuxtla. La muestra representó al amplio grupo de consumidores de bienes y servicios ambientales que se producen en cada territorio. Se trabajó con 65 productores, 54 % de ellos oriundos de Coatepec.

Se diseñó un cuestionario con tres secciones. La primera incluyó la presentación de la temática (servicios ambientales, agua, dosel) y datos generales del entrevistado. La segunda fue de valoración de paisajes contrastantes de las coberturas características del territorio de cada zona de PSAH, a través de una serie de fotografías (bosques, zonas urbanas, cultivos anuales, ranchos, cafetales, pastizales, áreas deforestadas, cauces y manantiales), de las cuales se solicitó una calificación en una escala tipo "likert" del uno al cinco (donde 1 fue pésimo y 5 excelente). Se explicó con antelación a los participantes en qué consistía cada escenario y se pidió que evaluaran de acuerdo con su percepción individual la importancia de cada paisaje para el desarrollo económico y la conservación (Churchill, 2001). La tercera sección del cuestionario consultó la opinión e interés sobre calidad

water is used by numerous populations in surrounding valleys. This mountain is the main supply of water in San Andrés Tuxtla municipality. The most important economic activities are fine timber logging, livestock and agriculture (del Ángel *et al.*, 2008).

This research draws from diverse ethnographic tools such as interviews structured under the topics of water-canopy-quality of life. Sociologic survey questionnaires were also applied along environmental economics techniques such as contingent valuation method (CVM) (Turpie, 2003). Ancillary information was used to assess the value of water for different social stakeholders in each zone. A combination of methods permitted grabbing the complexity of regional market values for water and landscape (Pouta *et al.*, 2002). 228 survey questionnaires were applied in San Andrés Tuxtla and 171 in Coatepec. The survey followed a stratified random sampling design. Sample size was proportional to population size, as reported by INEGI (2005). Strata classification considered sex, age, education, place of residence, and income. Individuals interviewed were at least 16 years old, assuming they are knowledgeable persons with a mature personal judgment, and a formed opinion about the environment, land use patterns and local circumstances. Samples were drawn from 17 communities in the cloud forest of Coatepec, and seven communities from San Martín volcano in San Andrés Tuxtla. The sample universe represents the realm of opinions of consumers of environmental goods and services that each of these two regions offers. Additionally, 65 producers were interviewed, 54 % of them in Coatepec.

Survey questioner was divided into three sections. First section starts with an explanation of the subject matter (environmental services, water, canopy), then it addresses the personal data of the person responding. In the second section the individual is asked to offer a value for several contrasting landscapes as seen in photographic images from several PSAH eligible zones. Landscapes considered include forest, city, annual crop, farm, coffee plantation, grassland, land clearing, ravine, and spring. Responses were coded into a "likert" type scale of 1 to 5 where 1 is worst and 5 is best. Participants received an explanation about each scenario, and then were asked to assess the importance of each landscape shown in regard economic development and natural conservation (Churchill, 2001). In the third section, the questionnaire addressed the person's opinion and interest in environmental quality, willingness to pay to conserve canopy cover to regulate regional watershed flows, and how this influences their livelihoods. They were explained that canopy involves all woody plant tissue above the ground; canopy in tropical forests include stems, branches, leaves, flowers and fruits of all species. In this last section CVM was used to estimate value of environmental public goods. CVM permits quantification of natural resources without a market, as well as irregular products where price does not represent value. CVM also

del ambiente, así como las preferencias respecto a la disposición a pagar por conservar el dosel en beneficio de la hidrología regional y como impacta su calidad de vida, en el entendido de que el dosel es la capa aérea vegetal, que en los bosques tropicales normalmente se define por el conglomerado de tallos, hojas, ramas flores y fruto de diferentes especies. En esta sección, se utilizó el MVC, para valorar bienes públicos ambientales, ya que cuantifica recursos naturales carentes de mercado, o que presente irregularidades, de tal forma que no existe un precio establecido, que además ayuda a medir valores de uso pasivo, recreacionales y ambientales (Turpie, 2003; Carpenter y Seki, 2006). El método se ha empleado para generar parámetros y dictar políticas de manejo de tierras en que existe la obligación de responder por las consecuencias indirectas sobre el ambiente (Whittington, 1996).

El MVC permitió cuantificar preferencias expresadas y cambios de bienestar, en expresiones de valor por parte de los entrevistados, que marcan aumentos o disminuciones específicas en la cantidad o calidad de un servicio ambiental (en este caso agua) proporcionado por la calidad de la cubierta vegetal. Este método también determinó la Disposición Social a Pagar (DAP) por la protección y conservación del dosel forestal en las zonas de pago, si esto les supone el suministro sostenible de agua, y por tanto impacta en su actual calidad de vida; por ello, valora el cambio percibido en los aumentos o disminuciones del bien en cuestión (Turpie, 2003; Costanza *et al.*, 1997; Mitchell y Carson, 1989), en este caso, el dosel forestal y el acceso al agua, a través del programa de PSAH. Las estimaciones del valor obtenidas son "contingentes" porque los valores derivan de una situación hipotética o escenario presentado a los entrevistados (Van Rensburg *et al.*, 2002), cuyo valor aparece en unidades relativas que no están linealmente ligadas con valores económicos, pero que son consistentes y establecen posiciones jerárquicas secuenciales, equiparables al orden teórico del valor económico real de estos recursos (Holmes *et al.*, 2004; Chiesura y De Groot, 2003; Zhongmin *et al.*, 2003).

La DAP genera un puntaje que los individuos otorgan a un escenario reconocido, refleja las preferencias individuales y la actitud o respuesta hacia el mismo, pues teóricamente considera que existe una congruencia entre actitudes y comportamiento (Churchill, 2001). El análisis de la información se efectuó con el paquete estadístico XLSTAT mediante los estadísticos de prueba Kruskal Wallis y X^2 , ésta última para analizar las posibles relaciones de dependencia entre la DAP y las variables sociológicas más relevantes (Addinsoft, 2007).

Para obtener las percepciones de valor del bosque y de los paisajes alternativos de la zona, el cuestionamiento se orientó a dos enfoques: a) desarrollo económico, el cual refleja la percepción individual del valor económico del paisaje

allows estimates of passive, recreational and environmental uses (Turpie, 2003; Carpenter and Seki, 2006).

CVM has been used to generate parameters and to set policies for land management (Whittington, 1996). Its use permitted to assess preferences and changes in welfare, values, increases or reductions in quantity or quality of an environmental service (water) provided by the quality of plant cover. Social willingness to pay (WTP) for protecting and conserving forest cover in the PSAH zones was also determined with CVM. This approach assumes that continuous tree cover would secure a sustainable water supply (Turpie, 2003; Costanza *et al.*, 1997; Mitchell and Carson, 1989). Estimates are deemed contingent since they involve a hypothetical situation or a scenario presented to the interviewee (Van Rensburg *et al.*, 2002). CVM outputs values in relative units not linearly linked to economic values, though they are consistent and define hierarchical positions similar to the theoretical ranking of the real economic value of these resources (Holmes *et al.*, 2004; Chiesura and de Groot, 2003; Zhongmin *et al.*, 2003).

WTP records grades that individuals give to a known scene reflecting their personal preferences and attitudes or responses to that scene. WTP assumes that behavior is consistent with attitude (Churchill, 2001). Information was analyzed using XLSTAT software. Kruskal Wallis and X^2 tests were applied; the latter used to look into possible statistical relationships between WTP and relevant sociological variables (Addinsoft, 2007).

Forest and alternative landscapes value perceptions were estimated by two approaches: a) economic development reflecting personal perception about the landscape economic value; and b) conservation, where each grade indicates importance of a specific landscape because of its natural values (Turpie, 2003; Zhongwei *et al.*, 2001).

RESULTS AND DISCUSSION

Public expressed that forest, farm, and springs were the most important landscapes in the zone of San Andrés Tuxtla where environmental services were paid. This view conveys the importance for economic development and for that reason these landscapes received the highest grades. Values attached to landscapes were statistically different ($p \leq 0.05$) from those given to annual crop, grassland, city and cleared land (Figure 1). This outcome is consistent with the notion that developed land has a value for economic development. Forest grade was highest, but similar grades were given to farm and to spring. Data suggests that the general population considers these three landscapes as the main supports of the region's economy. Results match those by Van Rensburg *et al.* (2002). These latter results can be explained as people focus their preferences on landscapes of known values closely related to income.

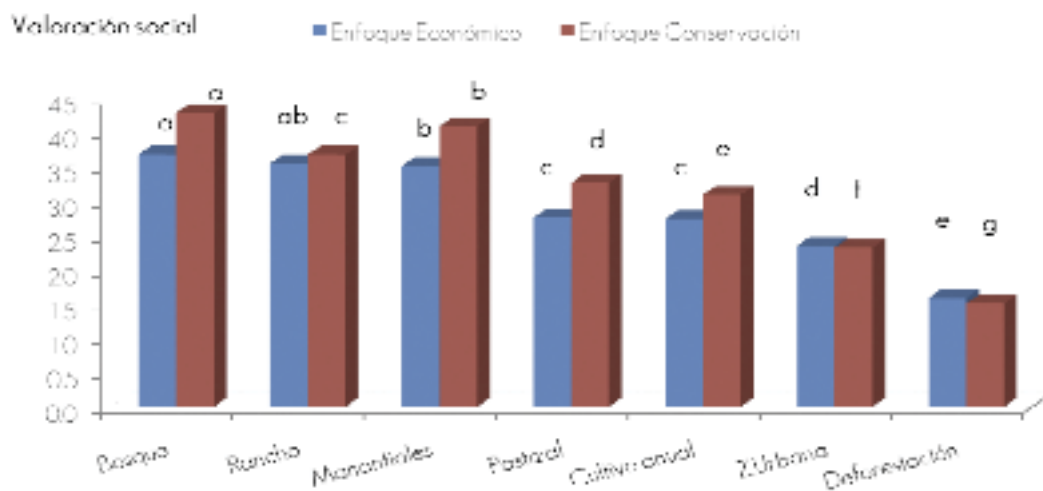
y b) conservación, donde cada asignación fue una indicación de la importancia que el paisaje tiene por sus valores naturales (Turpie, 2003; Zhongwei *et al.*, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la zona de pago por Servicios Ambientales de San Andrés Tuxtla, los paisajes más importantes para la población, en función de lo que consideran deseable para el desarrollo económico, fueron bosque, rancho y manantiales, ya que recibieron la puntuación más elevada. Los valores otorgados a los paisajes señalados resultaron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) a los que se adjudicaron a cultivos anuales, pastizales, zona urbana y áreas deforestadas (Figura 1). Estos son congruentes, ya que las calificaciones se atribuyeron utilizando el concepto de ambientes manejados cuya importancia es más alta para el desarrollo económico. Aunque el bosque obtuvo mayor puntuación, fue estadísticamente similar a rancho y manantiales. Los datos sugieren que la población ha interiorizado los tres paisajes como el soporte económico regional, ya que existen localidades que dependen de los recursos forestales. La información generada coincide con la registrada por Van Rensburg *et al.* (2002), quienes señalaron que las personas enfocan sus preferencias a paisajes con valores económicos conocidos y equivalentes a ingresos.

Social valuation, economic approach, conservation approach, public also chose forest, spring, and farm as the highest values for conservation (Figure 1). All factors resulted statistically different among themselves ($p \leq 0.05$). Respondents commented that forests, springs and farms have natural value, but they can also be economically useful.

When comparing economic development and conservation criteria, persons from Coatepec allocated larger values to conservation. This result does not imply a conservative thinking, rather, Coatepec population tends to consider that securing a continuous presence of forest and springs is a requisite for a continuous flow of subsidies from PSAH. On a different perspective, coffee plantations received the highest value scores associated to economic development (Figure 2). On a second level of importance we found urban areas and farms with mean grades above grasslands, though differences are not statistically significant. Respondents stated that high value scores are justified because these landscapes are relevant for economic development. Forest, rural town and degraded lands deserved the poorest scores. Coffee plantations took the highest mean grades for conservation purposes, while urban areas deserved intermediate values similar to ravines and farms. Grassland was the scene with the lowest grade, though not statistically different from all other cases. Forest received a grade similar to annual crops.



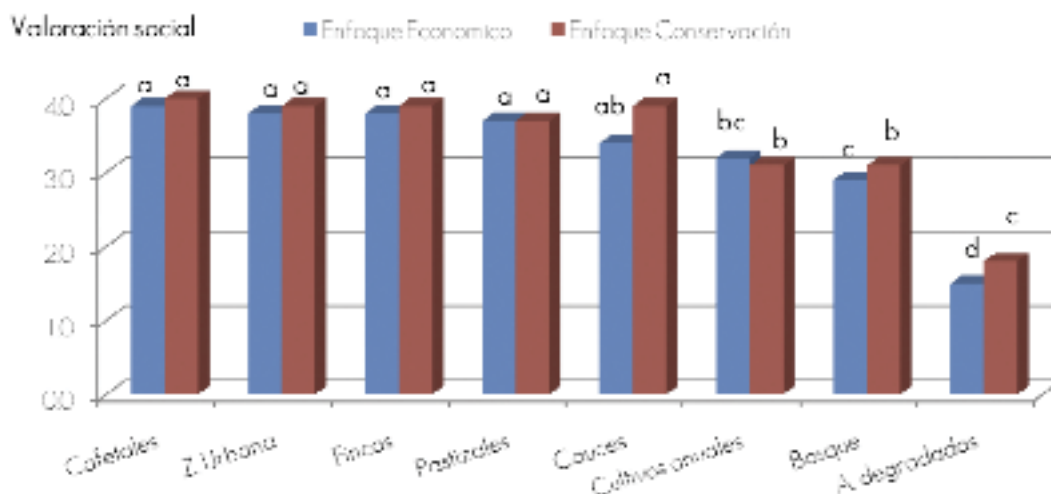
Medias con la misma letra son estadísticamente iguales dentro de cada enfoque de opinión. Kruskal Wallis ($p \leq 0.05$). Los valores sociales son las medias dentro de una escala de 1-5, donde 1 es pésimo y 5 excelente. Means for each topic labeled with the same symbol are statistically not different. Kruskal Wallis ($p \leq 0.05$). Social valuation is presented as means of scores on a scale 1 to 5, where 1 is worst and 5 is best.

Figura 1. Percepciones de valor de paisajes que conforman la zona de PSAH en San Andrés Tuxtla, Ver., 2011.

Figure 1. Landscape values perceived in the HESP eligible zone of San Andrés Tuxtla, Ver., 2011.

Dentro del enfoque de conservación, la población atribuyó al bosque, los manantiales y rancho, los valores más altos (Figura 1); aunque estadísticamente todos fueron diferentes entre ellos ($p \leq 0.05$). Durante las entrevistas, las personas señalaron que el bosque, los manantiales y el rancho tienen valores naturales, pero son muy importantes porque además pueden ser objeto de aprovechamiento económico.

Social valuation, economic approach, conservation approach, perceived value for Coatepec inhabitants favor developed productive landscapes such as coffee plantations, in opposition to forest landscapes that are seen devoid of economically valuable attributes. The understanding about the poor value assigned to forest land suggests that sustainable forest management is not an economically attractive option, as opposed to the perceived high value of coffee plantations,



Medias con la misma letra son estadísticamente iguales dentro de cada enfoque de opinión ($p \leq 0.05$). Los valores sociales son las medias dentro de una escala de 1-5, donde 1 es pésimo y 5 excelente.
Means for each topic labeled with the same symbol are statistically not different. Kruskal Wallis ($p \leq 0.05$). Social valuation is presented as means of scores on a scale 1 to 5, where 1 is worst and 5 is best.

Figura 2. Percepciones de valor de paisajes que conforman la zona de PSAH de Coatepec, Ver., 2011.
Figure 2. Landscape values perceived in the HESP eligible zone of Coatepec, Ver., 2011.

Al comparar los dos enfoques, se detectó que en Coatepec la población otorga mayor valor a los paisajes cuando estos se relacionan con la conservación, lo cual no implica necesariamente una fuerte conciencia ambiental, ya que dentro del imaginario local, la presencia de bosque y manantiales, así como su conservación, han sido interiorizados como pieza importante para seguir recibiendo los estímulos de PSAH. Por otra parte, y en función de desarrollo económico, los paisajes con plantaciones cafetaleras recibieron las más altas calificaciones (Figura 2). En orden de importancia, la zona urbana y las fincas obtuvieron medias iguales y más altas que pastizales, pero estadísticamente todos son similares. De acuerdo con la población entrevistada, los paisajes señalados son relevantes para el desarrollo económico, por lo que recibieron calificaciones altas. Los valores más bajos fueron para bosque, pueblo y áreas degradadas. En función de la conservación, los cafetales registraron la media más alta, mientras que la zona urbana, las fincas y los cauces tuvieron medias semejantes, y los pastizales numéricamente inferiores a todos los anteriores, aunque desde el punto de vista estadístico todos son iguales. El bosque tuvo un

because they offer revenues from coffee and from HESP subsidies. Population has interiorized the notion that coffee is an agroforestry scheme capable of protective functions for regional conservation and water values which bring in additional compensation for that reason.

Environmental value, conservation and willingness to pay (WTP)

Figure 3 displays a regression model of incremental WTP values. The dependent variable in the model was a marginal value and population was the independent variable. Each point in the curve represents WTP relative to preferences and degree of welfare that respondents demand individually from canopy conservation and protective measures of the regional hydrology. Persons believe that these measures provide a better quality of life (Calatrava, 1996). WTP curves in both municipalities were placed in the same figure to show the portion of population in the positive side of the plot. Both locations exhibit a positive WTP region, but San Andrés Tuxtla has a larger one, in part for being a larger

valor promedio semejante al de los cultivos anuales, aunque estadísticamente son iguales.

A diferencia de lo que ocurre en San Andrés Tuxtla, las percepciones de valor de la población en Coatepec favorecen los paisajes productivos, principalmente cafetales, en tanto que el bosque no se aprecia con atributos de valor económico; las concepciones de valor del bosque sugieren que el manejo sustentable no se percibe como una oportunidad económica. Las percepciones de valor del paisaje cafetalero se determinan por el aprovechamiento económico y el PSAH. La población ha interiorizado el valor del cafetal como un sistema agroforestal necesario para la conservación de las funciones y valores hidrológicos regionales que puede recibir una compensación adicional.

Valor de ambiente, conservación y disposición a pagar (DAP)

La Figura 3 muestra un modelo de regresión de los valores incrementales de la DAP, donde la variable dependiente fue el valor marginal y la independiente la población. Cada punto de la curva muestra la DAP basada en las preferencias y el grado de bienestar que los entrevistados demandan de manera individual, a través de las acciones de conservación del dosel y a favor de la protección de la hidrología regional, con la consideración de que éstas les confiere una mejor calidad de vida (Calatrava, 1996). Las curvas de demanda (DAP) de los dos municipios fueron agrupadas en la misma representación gráfica y muestra a la población que ocupa el área positiva. En ambas zonas existe una DAP positiva, pero esta es mayor en San Andrés Tuxtla, tanto por la cantidad de población (81 %), como por el monto promedio (\$6.20) y el límite superior señalado (\$15.00); sin embargo, la mayoría de los entrevistados manifestaron una disposición por debajo de la media. En cambio, en Coatepec, la DAP positiva fue menor (49.9%), con una voluntad de pago de \$ 4.11 en promedio, de la misma forma que en San Andrés Tuxtla, la mayor parte de la población se ubicó por debajo de la media.

La DAP refleja el impacto que la provisión de agua ocasiona en la calidad de vida de los entrevistados (usuarios de recursos ambientales), es decir, quienes observaron una DAP positiva consideraron que la provisión de agua mejoraría su calidad de vida. Al manifestar una disposición más alta, la población de San Andrés Tuxtla muestra una percepción del valor del agua superior que la de los habitantes de Coatepec. La diferencia entre las zonas obedece a un enfrentamiento directo a la escasez de agua entubada en la temporada de estiaje, la cual es más fuerte en San Andrés Tuxtla debido a que la demanda ha superado ampliamente la producción de las actuales fuentes de agua. Por otro lado, es importante considerar las preferencias sociales para apoyar las políticas públicas, ya que los cambios requeridos para

population (81%), and also for giving a higher average value (\$6.20), and a higher maximum value (\$15.00); however, most persons admitted having a willingness to pay below average. Results from Coatepec WTP were smaller (49.9%), with an average willingness to pay of \$4.11. Most responses were below average, just like in San Andrés Tuxtla.

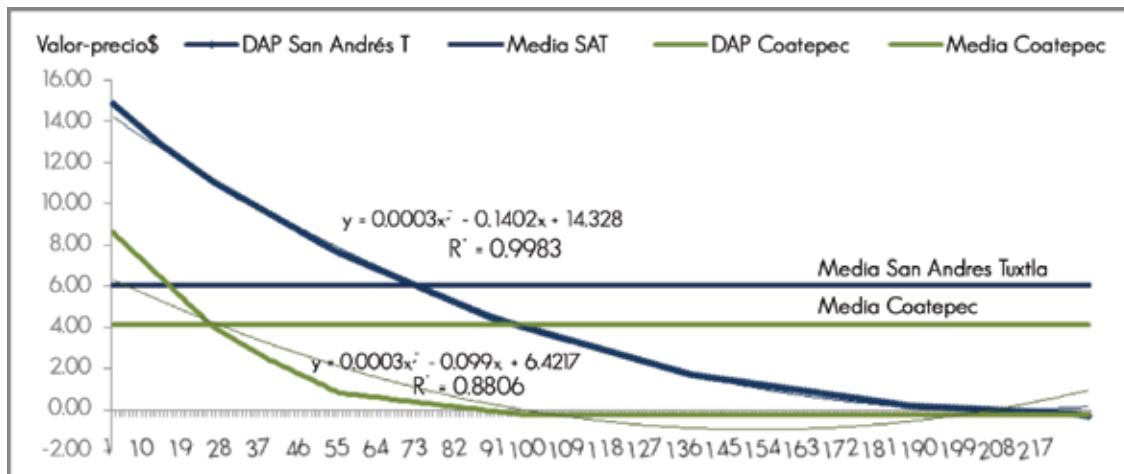
WTP conveys the impact from water supply on interviewees' quality of life (environmental services users), that is, those with a positive WTP are individuals who consider that having more of those services would improve their welfare. When interviewees in San Andrés Tuxtla expressed a superior willingness, this meant for them a higher value for water, as compared with the people of Coatepec. The difference seems due to more frequent scarcity events in the delivery of drinking water to homes in the pipe network serving San Andrés Tuxtla; demand of drinking water has exceeded capacity of current sources. Social preferences supporting public policy need consensus and social commitment, and disregard for this fact might have also contributed to water scarcity incidents (Bertoni and López, 2010).

Landscape and quality of life changes as a function of HESP operation

A great proportion of consumers are unaware of any changes in environment quality (such as access to water) due to HESP (68% in San Andrés Tuxtla, 56% in Coatepec). They feel their quality of life is similar to the one they had before HESP. This is the main outcome from analysis of people's perception about changes in regional environment and their effects on quality of life. On the other hand, producers stated that they feel forest cover has improved in those areas receiving HESP payment (78% in San Andrés Tuxtla, 60% in Coatepec); however, this improvement has not been translated into income thus far. The general opinion tends to believe that the last decade meant negative changes in water quality due to increased deforestation, increase in area used for ranching, and for agriculture, expansion of urban areas into HESP zones and longer dry seasons. A total of 88% consumers in both municipalities were unable to come up with a single instance of positive changes in environmental policy, though they consider these policies are better today.

Data from this study can be interpreted as suggesting that consumers perceive no intangible conservation benefits of this program, which is a finding similar as those reported by del Ángel and Villagómez-Cortés (2011) in regard to perceptions and demand of natural resources in the coastal plains of central Veracruz.

Urbanization and concrete economic benefits that the population receives from the environment, as well as perceptions of environmental change were deemed important, as interpreted



DAP = Disposición Social a Pagar; SAT = San Andrés Tuxtla; Coate = Coatepec.
 DAP = social willingness to pay; SAT = San Andrés Tuxtla; Coate = Coatepec.

Figura 3. Disposición y voluntad a pagar por Servicios Ambientales hidrológicos en las zonas de pago de San Andrés Tuxtla y Coatepec, Ver. 2011.

Figure 3. Acceptance and willingness to pay for hydrologic environmental services in zones eligible for payment in San Andrés Tuxtla and Coatepec, Ver. 2011.

alcanzar aspectos sustanciales de programas de conservación necesitan consensos y compromisos sociales para el logro de sus objetivos (Bertoni y López, 2010).

Modificaciones al paisaje y calidad de vida en función de la aplicación del programa PSAH

Al analizar la percepción que los entrevistados tienen sobre las modificaciones en el ambiente regional y los impactos en la calidad de vida, se manifestó qué gran proporción de los consumidores no percibe cambios en la calidad ambiental (acceso al agua) atribuible al PSAH (68% en San Andrés Tuxtla y 56 % en Coatepec), por lo que consideran que su calidad de vida es igual a la que tenían antes que el PSAH operara. En el caso de los productores, estos señalaron que observan una mejoría en la cubierta forestal en las áreas de pago del PSAH (78% en San Andrés Tuxtla y 60% en Coatepec), lo cual no necesariamente ha impactado en su ingreso. En general, la percepción es que en la última década, los cambios en la calidad del agua han sido negativos, como resultado del incremento en la deforestación y el aumento de la superficie ganadera y agrícola, la mayor urbanización en las zonas de PSAH, así como el incremento en el intervalo de los períodos de sequía. De los consumidores entrevistados, en ambas zonas, 88% señalaron su imposibilidad para dar ejemplos de un impacto positivo de las políticas ambientales; sin embargo consideran que las políticas gubernamentales han mejorado. Los

from variables found to influence willingness to pay for conserving forest canopy, a proxy for watershed services. For this reason, statistical associations between these variables and WTP were sought (Table 1).

Results provide evidence that receiving a rent from environmental services is the only factor significantly associated to willingness to pay (Table 1). This could be interpreted as if economic benefits from environmental services are viewed as stereotypes of an improved environment. In the current case, quality of life in its role as an economic function, plus a reliable water supply, both influence willingness to pay for conserving canopy cover, just like Pérez *et al.* (2009) described.

Local water market

Before HESP, timber represented one of the major resources used in San Andrés Tuxtla. Now, timber has become an opportunity cost because HESP requires a commitment from producers to sustain a given level of crown cover in order to be eligible for HESP payment. FAO (2006) estimates that industrial grade timber from an hectare of Mexican forest is worth USD\$250. Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2007b) reported that HESP participant tracks of land are covered with medium and high tropical forests capable of yielding 40 m³ ha⁻¹ of round wood, with an estimated market price of MEX\$400 per cubic meter; however, in the study areas, wood is sold

datos anteriores muestran que la población (consumidores) no percibe los beneficios intangibles de un programa de conservación, situación analizada por del Ángel-Pérez y Villagómez-Cortés (2011), con respecto a las demandas públicas y las percepciones sobre recursos naturales en la planicie costera del centro de Veracruz.

Como variables que influyen en la voluntad de pago para conservación del dosel forestal en beneficio de los servicios concretos que la población extrae del ambiente (económicos) y las percepciones de cambio ambiental eran importantes, por lo que se buscó la asociación entre ellas y la DAP (Cuadro 1).

illegally most of the time, which means that lower actual prices are paid. In these conditions it seems possible to move to the legal market every year some 2.51 m³ ha⁻¹ in timber of several species (CONAFOR, 2007a; Vanclay, 1996).

In San Andrés Tuxtla most water consumed comes from six water springs located on the slopes of San Martín Tuxtla volcano, a HESP eligible zone. The San Andrés Tuxtla Municipio, Veracruz State (2005) reported though its Comisión de Agua Potable, a drinking water monthly consumption of 162,136 m³, among business and home customers, except farms. Caveat: only 9,957 (42 %) of the 17,144 municipal water customers have a

Cuadro 1. Variables que influyen en la disposición a pagar por servicios ambientales hidrológicos en las áreas estudiadas (2011).
Table 1. Variables associated to willingness to pay for hydrological environmental services in the study regions (2011).

Variable	X ²	gl	Probabilidad (p)	Significancia
Crecimiento urbano	1.564	1	0.211	ns
Obtiene beneficio del área	5.854	1	0.016	*
Mejor calidad ambiental actual	5.670	4	0.225	ns
Mejor calidad ambiental antes	0.655	3	0.884	ns

*Significativo (p≤0.05), ** Muy significativo (p≤0.01), ns= no significativo (p>0.05); gl = grados de libertad.
*Significant (p≤0.05), ** Highly significant (p≤0.01), ns= non significant (p>0.05); gl = degrees of freedom.

Los resultados señalan que sólo la obtención de beneficios del ambiente presentó una asociación significativa con la DAP (Cuadro 1). Esto significa que los beneficios económicos generados del ambiente prevalecen como estereotipos de una mejoría ambiental, en este caso, la calidad de vida obtenida como función económica y el acceso seguro al agua influyen en la disposición a pagar por conservar el dosel, de manera similar a lo descrito por Pérez *et al.* (2009).

Mercado local de agua

Hasta antes del surgimiento del programa PSAH en San Andrés Tuxtla, la madera representaba uno de los productos de mayor aprovechamiento en la zona de pago, considerada ahora como un costo de oportunidad. Esto se explica por el compromiso obligado que asumen los productores para mantener determinado dosel forestal y continuar recibiendo el PSAH. La FAO (2006) indicó que el valor de producción de un bosque mexicano es de 250 dólares ha⁻¹ de madera para uso industrial, mientras que en el informe del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2007b), se calculó para el tipo de vegetación dominante en la zona de PSAH, selva alta y mediana, una producción promedio de 40 m³ ha⁻¹ de madera en rollo; si bien el precio promedio es de \$ 400.00. Dado que en las zonas de pago la comercialización de madera con frecuencia se lleva a cabo en forma ilegal, los productores reciben precios bajos. Así, de acuerdo

water meter; this proportion of unmeasured consumption is close to the national average, as reported for 2006 by CONAGUA (2007). San Andrés Tuxtla Municipality charged MEX\$2.80 per cubic meter for water delivered in its distribution network; this means an average cost of MEX\$650.16 per household.

The six water springs in San Andrés Tuxtla Municipio, Veracruz State(2005) sustain a yield of 1,036,800 m³. This volume serves a 148,447 population living 4.3 persons on average per household (INEGI, 2005). Table 2 displays general market characteristics of the water market in this municipality. Considering the number of homes (INEGI, 2005), average daily domestic consumption (150 l per person), and average family (4.3 members), demands a monthly quantity of 19.35 m³, that corresponds to an annual consumption of 232.2 m³.

Table 3 presents the local water market scenario for San Andrés Tuxtla, as a product of Table 2 data. These figures show differences in perception of the value of a cubic meter of water, as seen by different local stakeholders participating in that specific market: consumers, producers, public budget appropriated for HESP in 2004. Notice that the lowest water value is for actual government spending. The relevance of subsidies paid appears clearly when contrasting with the highest value perceived by the public, in this case the value assigned by the producer: average annual

con las condiciones de producción es posible incorporar el mercado alrededor de $2.51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ al año, en promedio, de diferentes especies (CONAFOR, 2007a; Vanclay, 1996).

En San Andrés Tuxtla, el agua que se consume proviene principalmente de seis manantiales localizados en las laderas del volcán San Martín Tuxtla, dentro de la zona de pago. El gobierno municipal de San Andrés Tuxtla (2005), señaló que la Comisión de agua potable municipal, reportó un consumo de $162,136 \text{ m}^3$ por mes incluyendo uso doméstico, industrial, comercial y otros, aunque no contabiliza la de uso agrícola; señaló también que existen 17, 144 tomas de agua, pero solo 9,957 (42 %) disponen de medidor, por lo que las estimaciones son promediadas. Para 2006, CONAGUA (2007) consideró datos similares del porcentaje nacional de agua no contabilizada. El municipio de San Andrés Tuxtla cobró \$ 2.80 por m^3 por la distribución de agua, lo que representa un pago de \$ 650.16 en promedio por hogar al año.

opportunity cost of one hectare of forest land exceeds the per hectare rate paid by HESP, and it also exceeds the adjusted consumer willingness to pay.

These results match MacMillan *et al.* (2006) and Rajee *et al.* (2002) findings about the role of money in environmental transactions (*i.e.* public goods). They explain that ecological values are perceived by consumers as intangible products inferior to concrete products with monetary value. Water volume flow demanded by users seems less than the flow available in the pipe network, but agriculture uses are not accounted for in this volume. A detailed accounting of all social actors in water production and consumption is a commendable task that should be delivered soon. To consider the per hectare profitability of reforestation into the environmental services opportunity cost is also a purpose worth pursuing.

The cloud forest of Coatepec is a very important landscape that fulfills ecosystem hydrologic functions. The cloud forest is

Cuadro 2. Características del mercado anual de agua en la zona de PSAH de San Andrés Tuxtla, Ver. (2011).

Table 2. Water market annual characteristics in the HESP zone of San Andrés Tuxtla, Ver. (2011).

Indicador	Datos	Resultado
(DAPto)	DAP prom. ¹ x No. de hogares ²	\$1,016 601.6
(Dm ³ fa)	Consumo promedio por familia al año x Total de hogares	3,172 780.8 m ³
(Apsah)	Área total de PSAH	8,237.09 ha
(PSAHto)	\$ 300.00 ha año ⁻¹	\$ 2,471 127 total anual
PSAH fiscal ³	\$ 2,471 527.6 por año	\$ 300.00 ha año ⁻¹
(Pto m ³)	12,442 600 m ³	12,442 600 m ³

¹ DAP promedio \$ 6.20; ² 13, 664 hogares; ³ pagado por CONAFOR (PSAHto).

DAPto = Disposición a pagar total; Dm³fa = Demanda de agua m³; Apsah = Área total de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en el año; PSAHto = Pago de Servicios Ambientales total anual; Pto m³ = Producción total de agua m³.

WTP average = \$ 6.20; ² 13, 664 households; ³ payments by CONAFOR (PSAHto).

DAPto = total WTP; Dm³fa = Quantity of water demanded m³; Apsah = Total area in PSAH in current year;

PSAHto = Sum of annual PSAH payments; Pto m³ = Total water available in the network m³.

Existen seis manantiales con un gasto de agua de 1,036,800 m³ por mes (Municipio de San Andrés Tuxtla, 2005) que soportan una población de 148,447 habitantes, con un promedio de 4.3 habitantes por hogar (INEGI, 2005). El Cuadro 2 muestra las características generales del mercado de agua para el municipio, considerando el número total de hogares reportado por (INEGI, 2005), y el consumo promedio diario de agua para uso doméstico registrado por el municipio de 150 L por persona, por lo que una familia promedio (4.3 miembros), demanda $19.35 \text{ m}^3 \text{ mes}^{-1}$ y $232.2 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$.

El Cuadro 3 muestra el escenario del mercado local de agua para San Andrés Tuxtla, para lo cual se utilizaron los datos del Cuadro 2. Las cifras indican diferencias entre las percepciones del valor de un m³ de agua de los diferentes actores locales que

where coffee plantations grow. Cherry coffee harvest averaged 3.4 ton ha^{-1} in the 2003 to 2007 period (Mestries, 2006; Financiera Rural, 2009). This process represents an opportunity cost. Producers complain that enrichment and conservation of the forest and plantation canopy, as well as changes required in production technology to improve sustainability taxes productivity from a hectare of coffee because of the greater shading of different plant strata in the plantation, and because of alternative means of pest and disease controls.

Río Gavilanes watershed is the main catchment area for Coatepec. The watershed covers 36.8 km^2 and it is located NE from Coatepec and Xico municipalities. Volume collected is 80.4 million m³ (García *et al.*, 2005). This volume is available for 86,698 inhabitants from 20,745 households

intervienen en el mercado de agua: consumidores, productores y fondos fiscales destinados al PSAH en 2004. Se observa que el valor fiscal del m³ de agua es el más bajo, inferior aún al contrastarse con la percepción que la población tiene del valor del agua, y el valor más alto es el del productor. Al considerar el costo de oportunidad anual promedio de una hectárea de terreno forestal, éste resulta mucho mayor que el pago por hectárea recibido de la CONAFOR, así como la DAP por hectárea ajustada de los consumidores.

with 4.2 persons per household, consuming 150 l per person (Hoekstra and Chapagain, 2008). Table 4 shows Coatepec's general market characteristics. The general scenario displayed at Table 5 was built using data from Table 4. Figures indicate different perceptions about the value of a cubic meter of water among different local stakeholders participating in the market: consumers, producers, and HESP budget appropriations for 2004. The unit value of water is larger for producers than for consumers, and the price paid by government is a value

Cuadro 3. Valor del agua para diferentes actores en la zona de PSAH de San Andrés Tuxtla, Ver. (2011).
Table 3. Value of water for different stakeholders in the PSAH zone of San Andrés Tuxtla, Ver. (2011).

Concepto	Índices	Datos	Resultado
Valor percibido del consumidor por m ³ de agua	Vm ³	DAPto/Dm ³ ca*	\$ 0.32 m ⁻³
Valor percibido del productor por m ³ de agua	Vm ³	DACo /Dm ³ ca*	\$ 2.60 m ⁻³
Valor fiscal m ³ de agua anual	Vm ³ fiscal	PSAHto /Pto m ³	\$ 0.20 m ⁻³
Disposición del productor a ser compensado por hectárea	DACol	ln/ha**	\$ 1,004.00 ha ⁻¹
Disposición del consumidor a pagar por hectárea, ajustada	DAPac ha ⁻¹	DAPto/Apsah	\$ 123.40 ha ⁻¹

¹ DACo, disposición a ser compensado = ingreso promedio por hectárea de café.

² ln/ha, ingreso por hectárea = cosecha y venta de madera/ha/año.

*DACo, willingness to accept compensation = average income from a hectare of coffee.

** ln/ha, income per hectare = timber stumpage /ha/year.

Los resultados destacan lo que MacMillan *et al.* (2006) y Raju *et al.* (2002) señalaron respecto a la mediación de dinero en las transacciones ambientales (de bienes públicos), donde los valores ecológicos aparecen como productos intangibles para los usuarios, e inferiores a los valores económicos de los productos concretos. Aunque la demanda de agua de la población parece no superar a la oferta, esto se debe a que no se incluyó la demanda de agua agrícola. Es recomendable efectuar un análisis detallado de todos los actores sociales en producción y consumo de agua, e incluir dentro del costo de oportunidad la rentabilidad de reforestación de una hectárea de terreno.

Para la zona de Coatepec, el bosque mesófilo de montaña es un paisaje sumamente importante para el cumplimiento de las funciones hidrológicas del ecosistema. Este contiene la zona cafetalera, por lo que la cosecha de café cereza en condiciones de producción normales representa el costo de oportunidad con 3.4 ton ha⁻¹, producción promedio del 2003 al 2007 (Mestries, 2006; Financiera Rural, 2009): Este costo es importante, ya que según los productores, el enriquecimiento y/o conservación de la cobertura del dosel forestal, y la modificación de una tecnología de producción a otra más sustentable, disminuirán la productividad de una hectárea de café, debido a una mayor sombra de los diferentes niveles de vegetación que componen los cafetales y a otras alternativas de control de plagas y enfermedades.

in between those two, but less than the adjusted consumer willingness to pay (Table 5).

Cubic meter value perceptions are higher for San Andrés Tuxtla consumers, but Coatepec producers value water more than producers from San Andrés Tuxtla. Budgetary value of water is also higher in Coatepec. At some future point conciliation of producer, consumer and government value figures is essential to justly acknowledge the role of producers (Pérez *et al.*, 2009). It would be also desirable to expand this research to consider downstream implications, since many persons from those places benefit from payment effects in the uplands. Data in this study suggests a plausible pattern of positive WTP in downstream populations for conserving woody cover, which means that downstream benefits are quite likely significant, and they could support a fair social recognition of payment for environmental services programs (Akpabio and Ekanem, 2009). This is similar to forest conservation program FIDECOAGUA, operating since 2002 in Coatepec (Manson, 2004; Fuentes-Pangtay, 2008).

Features of population willing to pay

After considering WTP in two HESP zones of similar sociodemographic characteristics, relevance of willingness to pay for environmental services using a perception map (Figure 4). This model explains 60 % of variance in the sample. Observe that positive WTP occurs opposite to negative WTP in the plot, this represents differences among individuals in the sample.

Cuadro 4. Características del mercado anual de agua en la zona de PSAH de Coatepec Ver. (2011).
Table 4. Water market annual characteristics in the HESP zone of Coatepec, Ver. (2011).

Indicador	Datos	Resultado
(DAPto)	DAP prom. ¹ x No. de hogares ²	\$ 1 023 143.40
(Dm ³ fa)	Consumo promedio anual por familia x Total de hogares	4 704 966 m ³
(Apsah)	Área total de PSAH	2, 126.76 ha
(PSAHto)	\$ 400.00 ha año ⁻¹	\$ 850 704 total anual
PSAH fiscal ³	\$ 850 704 año ⁻¹	\$ 400.00 ha año ⁻¹
(Pto m ³)	80.4 millones de m ³	80.4 millones de m ³

¹ DAP promedio \$ 4.11; ² 20,745 hogares; ³ pagado por CONAFOR (PSAHto).

DAPto = Disposición a pagar total; Dm³fa = Demanda de agua m³; Apsah = Área total de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en el año;

PSAHto = Pago de Servicios Ambientales total anual; Pto m³ = Producción total de agua m³.

¹ AWT average = \$ 4.11; ² 20,745 households; ³ payments by CONAFOR (PSAHto).

La cuenca del río Gavilanes es la principal fuente de abastecimiento de agua en Coatepec. Tiene una superficie de 36.8 km² y se ubica al NE de los municipios de Coatepec y Xico, con una captación neta de 80.4 millones de m³ (García *et al.*, 2005), abastece a 86,696 habitantes en 20,745 hogares, con 4.2 personas por hogar, y un consumo promedio de agua de 150L por persona (Hoekstra y Chapagain, 2008). El Cuadro 4 presenta las características generales del mercado de agua para la zona de Coatepec.

Figure 4 suggests positive WTP (DAP-Si) follows a trend closer to explicative variables such as age group (adults 26-35 years old), persons with average income (Ing-Medios \$4,001-\$7,000) and high (Ing-Altos >7,001), and individuals with higher education. On the other side, negative WTP (DAP-No) seems to prevail in population with no, or marginal income (Ing-Mar < \$2,000), older and younger age classes. Hence, age and education are the most powerful predictive variables explaining willingness to pay for conserving canopy cover.

Cuadro 5. Valor del agua para diferentes actores en la zona de PSAH de Coatepec, Ver. (2011).
Table 5. Value of water for different stakeholders in the HESP zone of Coatepec, Ver. (2011).

	Indices	Datos	Resultado
Valor percibido del consumidor por m ³ de agua	Vm ³	DAPto x Dm ³ fa	\$ 0.21 m ⁻³
Valor percibido del productor por m ³ de agua	Vm ³	¹ DACo x Dm ³ fa	\$ 3.07 m ⁻³
Valor fiscal m ³ agua año ⁻¹	Vm ³ fiscal	PSAHto x Pto m ³	\$ 1.05 m ⁻³
Disposición del productor a ser compensado por hectárea	DACo ¹	² ln x ha ²	\$ 6,800.00 ha ⁻¹
Disposición del consumidor a pagar por hectárea, ajustada	DAP ac ha ⁻¹	DAPto Apsah ⁻¹	\$ 481.08 ha ⁻¹

¹ DACo, disposición a ser compensado; ln = ingreso por producción de café (costo de oportunidad) promedio por hectárea \$ 6,800.00 (Financiera Rural, 2009)

² ln x ha, ingreso por hectárea/año de café cereza.

¹ DACo, willingness to accept compensation = average income from a hectare of coffee (opportunity cost) = \$ 6,800.00 (average); source: Financiera Rural, 2009)

² ln x ha, annual income per hectare from sales of cherry coffee.

El escenario general del mercado local de agua en Coatepec, se encuentra en el Cuadro 5, generado a partir de los datos del Cuadro 4. Las cifras indican diferencias entre las percepciones del valor de un m³ de agua de los diferentes actores locales que intervienen en el mercado de agua: consumidores, productores y fondos fiscales destinados al PSAH en 2004. El valor de un m³ de agua es menor para el consumidor y superior para el productor; y aunque el valor fiscal es superior al del consumidor, continúa siendo inferior al del productor, y a la DAP ajustada de los consumidores (Cuadro 5).

Results support the decisive importance that population features have when society addresses recognition of producers of environmental services. Literature offers studies from several places in the world. Some references are in line with our findings (Sadrul Huda *et al.*, 2009; MacMillan *et al.*, 2006). As a caveat, it is advisable to notice that the income effect might be relative, a person with low income is expected to have a high WTP, but quantity demanded is not comparable with the volume requested by individuals with high income; their consumption levels are drastically different, and their perceptions too (del Ángel *et al.*, 2006b).

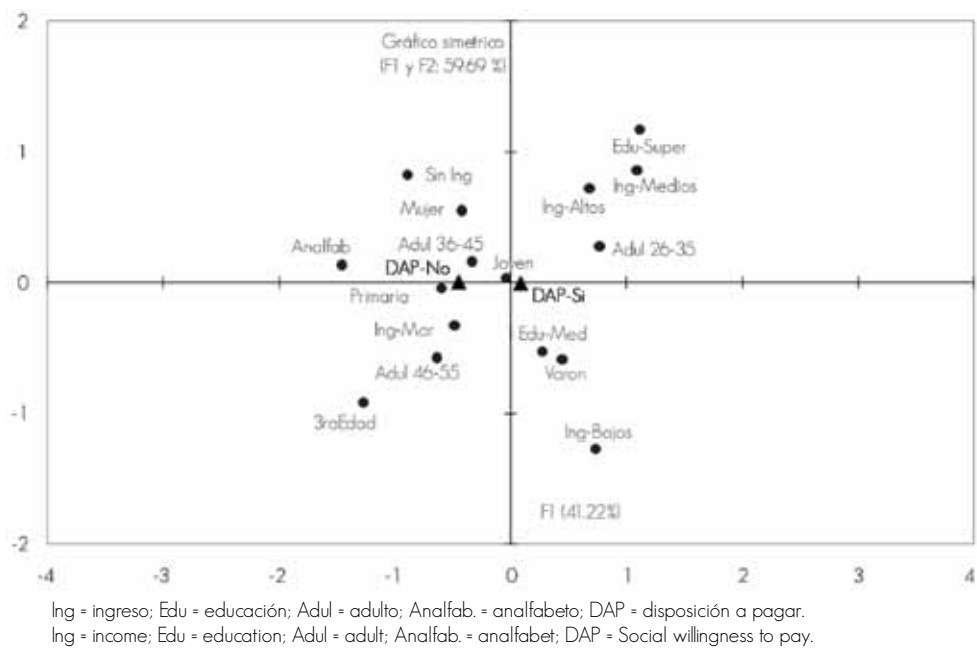


Figura 4. Integración de variables socioeconómicas (edad, sexo, escolaridad e ingresos) que influyen en la disposición al pago por Servicios Ambientales hidrológicos en las zonas de pago. Veracruz, 2011.

Figure 4. Plot of socioeconomic variables (age, sex, education, and income) influencing willingness to pay for hydrologic environmental services in eligible zones of Veracruz, 2011.

Al comparar las dos zonas, se observó que las percepciones del valor de un m³ de agua de los consumidores son más altas en San Andrés Tuxtla, pero en el caso del productor, son más elevados en Coatepec. El valor fiscal del agua también es más alto en Coatepec. También es necesaria la conciliación de los valores productor-consumidor-gobierno, considerando la búsqueda del reconocimiento social a los productores (Pérez *et al.*, 2009), incluyendo áreas “aguas abajo” que también se benefician del agua que proveen las zonas de pago. Lo anterior es factible debido a que los datos sugieren que existe potencial con relación a la DAP por servicios hidrológicos mediante la conservación del dosel, lo que constituye una oportunidad para incorporar el reconocimiento social a los programas de conservación y PSA (Akpabio y Ekanem, 2009), de modo similar a como desde 2002 lo realiza FIDECOAGUA en Coatepec, para la conservación de bosques (Manson, 2004; Fuentes-Pangtay, 2008).

Características de la población con disposición a pagar

Después de considerar la disposición a pagar (DAP) de la población entrevistada en las dos zonas de PSAH, cuyas características socioedemográficas son similares, se analizó la relevancia de la disposición a pagar (DAP) por SA en un mapa perceptual (Figura 4), cuyo modelo explica 60 % de

CONCLUSIONS

A difference in regional perception of value configurations about lands HESP eligible was observed. Economic values top conservation values in Coatepec and San Andrés Tuxtla, even though conservation value is large in size and it is sustained in its economic value.

Willingness to pay to conserve canopy cover to improve or maintain ecosystem hydrologic functions was superior in San Andrés Tuxtla because of a larger population with positive WTP, and for its superior average. However, general population does not perceive yet any socioeconomic effect from the presence of HESP. Influence of economic rents from lands in the HESP program was seen as the power behind positive WTP. This means that environmental values are intangible and their value is low for that reason.

In the search for societal recognition to environmental services producers, such recognition might be supported on differences due to age and education level as relevant attributes of the population profile with positive WTP. Above all, conflicting interests must be reconciled among the various stakeholders.

la varianza. Se puede observar la DAP positiva en plano totalmente opuesto a la negativa, lo que representa diferencias en rasgos de la población entrevistada.


La Figura 4 muestra que la variable DAP positiva (DAP-Si) a favor de la conservación del dosel forestal, tiene una distancia menor con las variables explicativas grupo etario adulto (Adul26-35), personas con ingresos medios (Ing-Medios, \$4,001-\$7,000) o altos (Ing-Altos > \$7,001), y entrevistados con educación superior. En oposición, se observó una DAP negativa (DAP-No) en las personas que no cuentan con ingresos o perciben ingresos marginales (Ing-Mar < \$2,000), así como los entrevistados en grupos etarios superiores o inferiores al arriba señalado. En consecuencia, grupo etario y escolaridad son variables relevantes para la disposición a pagar por conservación del dosel. Por lo tanto, los resultados señalan la importancia de considerar el peso de las características de la población en programas de reconocimiento social a los productores de servicios ambientales. Se han observado resultados similares en estudios efectuados en varios lugares del mundo (Sadrul Huda *et al.*, 2009; MacMillan *et al.*, 2006); sin embargo, es preciso señalar que las preferencias entre los individuos difieren no sólo por los niveles de ingreso, sino también por los de consumo; es decir, una persona con bajo nivel de ingreso puede señalar una disposición a pagar alta, pero no es comparable con la de una persona con ingresos altos, ya que sus niveles de consumo son indistintos y su percepción de valor también (del Ángel *et al.*, 2006b).

CONCLUSIONES

Se observó una diferencia en las configuraciones regionales de percepción de valor de los paisajes que estructuran las zonas de PSAH, donde los valores económicos superan a los de conservación en el caso de Coatepec, mientras que en San Andrés Tuxtla, aunque el bosque es percibido con un valor alto para conservación, fue similar en función de valor económico.

La disposición a pagar por conservar el dosel para mejorar o mantener las funciones hidrológicas del ecosistema fue mayor en San Andrés Tuxtla, tanto en cantidad de población con DAP positiva como por el promedio señalado. Aunque la población no percibe aún efectos socioeconómicos de la aplicación del PSAH, se observó que la DAP es influida por los beneficios económicos obtenidos de los paisajes que estructuran las zonas de pago. Es decir, los valores ambientales son intangibles y por ello su valor es menor.

La búsqueda del reconocimiento de la sociedad a los productores de SA deberá fundamentarse en las diferencias relacionadas con grupo etario y escolaridad como variables relevantes en el perfil de la población con DAP positiva, y sobre todo buscar el conciliar intereses entre los diferentes actores sociales.

Multiple perceptions of the value of water that flows out of lands in the HESP program were found. Consumers in San Andrés Tuxtla offers a higher value per cubic meter, but producers in Coatepec consider water more valuable than other producers, and public spending was also larger in Coatepec. 

ACKNOWLEDGMENTS

To Comisión Nacional Forestal for funding project: "Assessment of social, economic, and ecologic impact due to environmental services payments in Coatepec and San Andrés Tuxtla, Ver. CONAFOR - 2004 - CO4 - 4". This paper presents the socioeconomic segment of this project.

End of the English version

Las percepciones de valor del agua que proveen las zonas de PSAH, entre los diferentes actores del mercado son diferentes. Para el consumidor, el valor del m³ de agua fue mayor en la zona de San Andrés Tuxtla; en cambio, para los productores, el valor más alto se obtuvo en Coatepec. El valor fiscal también fue mayor en Coatepec, pues ahí se privilegian los valores fiscales.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional Forestal por el apoyo financiero para la realización del proyecto: "Valoración del impacto social, económico y ecológico por pago de servicios ambientales en Coatepec y San Andrés Tuxtla, Ver. CONAFOR - 2004 - CO4 - 4". Como parte de dicho proyecto, el presente artículo desarrolla el apartado socioeconómico.

REFERENCIAS

- Addinsoff, T. M. 2007. XLSTAT Your Data Analysis Solution. Versión 2007, Barcelona, España. s/p
- Akpabio E. M. and E. M. Ekanem 2009. Water uncertainties in Southeastern Nigeria: Why government should be interested in management. *Int. J. Sociol. Anthropol.* 11(2): 38-46.
- Bertoni, M. y M. J. López. 2010. Percepciones sociales ambientales: Valores y actitudes hacia la conservación de la Reserva de Biosfera "Parque Atlántico Mar Chiquita" - Argentina. *Estud. Perspect. Tur.* Vol.19 (5): 835-849.
- Bovenberg, A. L., L. H. Goulder and M. R. Jacobsen. 2008. Costs of alternative environmental policy instruments in the presence of industry compensation requirements. *J. Public Econ.* 92(5-6): 1236-1253.
- Cacho, O. 2001. An analysis of externalities in agroforestry systems in the presence of land degradation. *Ecol. Econ.* 39: 131-143.
- Calatrava, J. 1996. Valoración económica de paisajes agrarios: consideraciones generales. Aplicación del método de valoración contingente al caso de la caña de azúcar en la Vega de Motril-Salobreña. In: Azqueta O, D. y P. L. Pérez (Eds.). *Gestión de Espacios Naturales*. McGraw-Hill Book Company. Madrid, España. pp. 144-172.
- Carpenter, J. P. and E. Seki. 2006. Competitive work environments and social preferences: field experimental evidence from a Japanese fishing community. *Econ. Analysis & Policy* 5(2): 1-25.
- Churchill Jr., G. A. 2001. *Investigación de mercados*. International Thomson. México, D.F. México. 830 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2007. *Situación del subsector, agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Secretaría de Medio Ambiente, Gerencia de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Redes de Alcantarillado. Subgerencia de Control de Información, CNA, México, p. 247. <http://www.agua.org.mx/images/stories/Biblioteca/Saneamiento/calidaddelagua/situacion%F3n%20del%20agua%20potable%2C%20alcantarillado%20y%20saneamiento%202007.pdf>. (22 de enero de 2008).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2006. *Bosque y Desarrollo*. Servicios Ambientales Forestales. México. <http://www.conafor.gob.mx/portal/> (24 de enero de 2007).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2007a. *Monitoreo Forestal 2007*. CONAFOR-SEMARNAT. http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/administrator/sistemas/archivoslas_demas/1295030069_ANUARIO_2007.pdf. (24 de enero de 2007).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2007b. *Informe del Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. SEMARNAT, INEGI, INE, INIFAP, CONABIO, México, p. 104. http://148.223.105.188:2222/snif_portal/. (24 de enero de 2007).
- Costanza, R., R. d'Arge, R. De Groot, R. Farber, S. Grasso, M. Bannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neill, J. Paruelo, R. Raskin, P. Sutton and M. Van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Chiesura, A. and R. De Groot. 2003. Critical natural capital: a socio-cultural perspective. *Ecol. Econ.* 44: 219-231.
- Del Ángel P., A. L., J. A. Villagómez C., M. A. Mendoza B. y Andrés Rebolledo M. 2006a. Valoración de recursos naturales y ganadería en la zona centro de Veracruz, México. *Madera y Bosques* 12(2):29-48.
- Del Ángel P., A. L., M. A. Mendoza B. y A. Rebolledo M. 2006b. Población y ambiente en Coatepec: valor social de la cubierta forestal. *Espiral* 12(36): 163-193.
- Del Ángel P., A. L., M. A. Rebolledo, J. A. Villagómez C. y Rigoberto Zetina L. 2008. Valoración del servicio ambiental hidrológico en el sector doméstico de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México. *Estudios Sociales* 17(33):227-257.
- Del Ángel-Pérez, A. L. and J. A. Villagómez-Cortés. 2011. Public demands, environmental perceptions and natural resource management in Mexico's tropical lowlands. *Journal of Business Management* Vol.5 (6): 2083-2092.
- Del Ángel-Pérez A. L., G. Díaz-Padilla, R. Guajardo-Panez and B. C. Linares-Bravo. 2011. Landscapes and fragile economy: ecosystems and agroecosystems in the Coatepec-La Antigua basin, Veracruz Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14 (2011): 629 - 642.
- Driesen, D. M. 2009. Alternatives to regulation?: market mechanisms and the environment. In: Cave, M., R. Baldwin and M. Lodge (Eds.). *Oxford Handbook on Regulation*. Oxford University Press. <http://ssrn.com/abstract=1268435> (20 de octubre de 2010).
- Financiera Rural. 2009. *Monografía de café cereza, 2003-2009*. Dirección ejecutiva de coordinación y evaluación rural. México, D.F., México. 4 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2006. *Global Forest Resources Assessment 2005*. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147. Rome, Italy. 320 p. <http://www.fao.org/docrep/009/a0400s/a0400s00.htm>. (20 de octubre de 2010).
- Fuentes-Pangtay, T. 2008. *Analysis of environmental services payment or compensation in the Pixquiac Cuenca*. Strengths and weaknesses in the local context (technical document). Project: nma3-08-03. SENDAS, México. 29 p. http://www.fmcn.org/documentos/04_Evaluacion_de_mecanismos_de_PSAH_en_el_Pixquiac.pdf (20 de octubre de 2010).
- García, C. I., O. A. Martínez, S.A. Ramírez, A. Niño Cruz, Rivas, A. J. y L. Domínguez B. 2005. La relación agua-bosque: delimitación de zonas prioritarias para pago de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del río Gavilanes, Coatepec, Veracruz. In: Cotler H. (Comp.). *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México, D.F. México. pp 100-115.
- Gómez G., C. M. 1996. Valoración de espacios verdes urbanos: el método de los precios hedónicos. In: Azqueta O, D. y P. L. Pérez (Comp.). *Gestión de Espacios Naturales*. McGraw Hill. Madrid, España. pp. 75-88.
- Hoekstra, A. Y. and A. K. Chapagain. 2008. *Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publishing House. Oxford, UK. 345 p.
- Holmes, T. P., J. C. Bergstrom, E. Huszar, S. B. Kask and F. Orr III. 2004. Contingent valuation, net marginal benefits and the scale of riparian ecosystem restoration. *Ecol. Econ.* 49(1): 19-30.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). 2005. http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/biblioteca/http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/localidad/iter/default.asp. (26 de febrero de 2007).
- MacMillan, D. C., N. Hanley and N. Lienhoop. 2006. Contingent valuation: environmental polling or preference engine? *Ecol. Econ.* 60: 299- 307.
- Manson, R. H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1): 3-20.

- Mestries, F. 2006. Entre la migración internacional y la diversificación de cultivos. Los pequeños productores de café en dos localidades de Veracruz. *Sociológica*, año 21 (Núm. 60): 75-108.
- Mitchel, R. C. and R. T. Carson. 1989. Using surveys to value public goods. The Contingent Valuation Method. Resources for the future. Johns Hopkins University Press. Washington, DC. USA. 441 p.
- Municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz. 2005. Estadísticas de la Dirección General de Fomento Agropecuario. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Gobierno del Estado de Veracruz, San Andrés Tuxtla, Ver. México, [http://www-local.gob.mx/work/templates/enciclo/veracruz/municipios/30141a.htm](http://www.local.gob.mx/work/templates/enciclo/veracruz/municipios/30141a.htm). (20 de agosto de 2007).
- Pérez R., J. A., O. A. Henao. and M. E. Naranjo. 2009. Determination of the willingness to pay for the water resources protection environmental service in Táchira State, Venezuela. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol.32 (1):77-85.
- Routa, E., M. Rekola, J. Kuuluvainen, L. Chuan-Zhong and O. Tahvonen. 2002. Willingness to pay in different policy-planning methods: Insights into 'respondents' decision-making processes. *Ecol. Econ.* 40: 295-311.
- Raje, D. V., P. S. Dhobe and A. W. Deshpande. 2002. Consumer's willingness to pay more for municipal supplied water: a case study. *Ecol. Econ.* 42(3): 391-400.
- Randall, A. 1981. Resource economics: an economic approach to natural resource and environmental policy. Grid Publishing Co. Columbus, OH USA. 415 p.
- Sadrul Huda, S. S. M., A. T. Muzaffar and J. Uddin A. 2009. An enquiry into the perception on food quality among urban people: A case of Bangladesh. *Afr. J. Bus. Manage.* Vol. 3 (5): 227-232.
- Turpie, K. J. 2003. The Existence value of biodiversity in South Africa: how interest, experience, knowledge, income and perceived level of threat influence local willingness to pay. *Ecol. Econ.* 46: 199-216.
- Vanclay, J. K. 1996. Estimating sustainable timber production from tropical forests. A discussion paper prepared for the World Bank. Working paper N° 11. Center for International Forestry Research, CIFOR. Jakarta, Indonesia. <http://espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:8365/WP-11.pdf> (10 de enero de 2008).
- Van Rensburg, T., G. A. Mill, M. Common and J. Lovett. 2002. Preferences and multiple use forest management. *Ecol. Econ.* 43(2): 231-244.
- Whittington, D. 1996. Administering contingent valuation surveys in developing countries. Economy and Environment Program for South East Asia (EEPSEA), International Development Research Centre. Regional Office for Southeast and East Asia. Singapore. 25 p.
- Zhongmin, X., C. Guodong, Z. Zhiqiang, S. Zhiyong and J. Loomis. 2003. Applying contingent valuation in China to measure the total economic value of restoring ecosystem services in Eijina region. *Ecol. Econ.* 44: 345-358.
- Zhongwei, G., X. Xiao, Y. Gan and Y. Zheng. 2001. Ecosystem functions, services and their values: a case study in Xingshan County of China. *Ecol. Econ.* 38: 141-154.



José Villanueva Díaz (2006). Lago natural rodeado de *Pinus duranguensis*. Sitio cercano a el Salto, Durango.

EL PAPEL DE LAS UNIDADES DE MANEJO AMBIENTAL EN LA CONSERVACIÓN DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN DE COAHUILA

THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT UNITS IN THE CONSERVATION OF VEGETATION TYPES IN COAHUILA STATE

César Cantú Ayala¹, Fernando González Saldivar¹, Patricia Koleff Osorio², José Uvalle Saucedo¹, José G. Marmolejo Monsivais¹, Jorge García Hernández¹, Laura Rentería Arrieta¹, Jonás Delgado Villalobos¹, Cynthia Resendiz Infante¹ y Edgardo Ortíz Hernández³

RESUMEN

Se determinó con el método de análisis de vacíos y omisiones de conservación (GAP), cómo contribuyen las 289 unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) de Coahuila a la conservación de los tipos de vegetación natural. Mediante un análisis de componentes principales se definió la relación entre los tipos de vegetación de Coahuila, respecto a su representatividad en áreas protegidas (AP). Las UMA en el estado cubren 1,546,778 ha, de ellas 72.6% se localizan, principalmente, en sitios con cuatro tipos de vegetación primaria, que en orden de cobertura son: matorral desértico rosetófilo, matorral espinoso tamaulipeco, matorral desértico micrófilo y pastizal natural. Si se considera a las UMA como elementos equivalentes a las AP en la conservación de la biodiversidad, éstas cubrirían todos los tipos de vegetación que son omisiones de conservación en la red de AP, con excepción de la vegetación gipsófila y la halófila. Sin embargo, no incluirían los cuatro tipos de vegetación, que son a la vez vacíos de conservación en la actual red de AP, las cuales en suma sólo representan 12,514 ha. Las UMA comprenden más del 25% de la extensión del matorral espinoso tamaulipeco y 4 mezquital primarios de Coahuila, actualmente sub-representados en la red de AP de la entidad por lo que éstas, podrían contribuir a la conservación de la biodiversidad, si se manejan sustentablemente, y de la cobertura natural del suelo.

Palabras Clave: Áreas protegidas, biodiversidad, Coahuila, conservación, tipos de vegetación, UMA.

ABSTRACT

In order to know the way in which the 289 units for management and conservation of wildlife (UMA, according to its initials in Spanish) contribute to the conservation of natural vegetation types of Coahuila, the gap method was used. By the Principal Component Analysis was determined the relationship of the vegetation types of the state in regard to the representativeness in protected areas (PA). The local UMAs cover 1,546,778 ha; 72% of them are found, mainly, in places where the four types of primary vegetation are present, which, according to their extent, would be as follows: desert microphilous scrub, desert rosetophilous scrub, tamaulipean thorn scrub and natural grassland. If UMA would be considered equivalent to PA for biodiversity conservation they would cover five vegetation types which are gaps in current protected areas; however, two plant communities: halophilous vegetation and gypsumophilous vegetation would be represented in PA below the reach of the national protected average of Mexico (12%). Moreover, four vegetation types, which represent only 12,514 ha, are not represented neither in PA nor in UMA. Coahuila's UMAs cover 25% of its tamaulipean thorn scrub and mesquite land extension in primary condition, which are currently under-represented in state PA network. That means, UMA can contribute to biodiversity conservation if they are sustainably managed, protecting natural land cover.

Key words: Protected areas, biodiversity, Coahuila, conservation, vegetation types, UMA.

Fecha de recepción: 16 de mayo de 2011.

Fecha de aceptación: 5 de julio de 2011.

¹ Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Correo-e: ccantua@prodigy.net.mx

² Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO

³ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. CONANP.

INTRODUCCIÓN

A más de una década de la implementación de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), existen opiniones encontradas acerca del papel que juegan en la protección de la biodiversidad. Las UMA fueron creadas en 1997 por parte del Gobierno Federal Mexicano como un instrumento para lograr sistemas productivos compatibles con la premisa del desarrollo sustentable. Actualmente, en México existen 8,255 UMA, que cubren 28.95 millones de hectáreas, equivalentes al 14.7% del territorio nacional (DGVS-SEMARNAT, 2008). Sin embargo, dadas las prácticas culturales que se realizan en ellas, tales como: el control de depredadores, cercos altos, alimentación suplementaria, etc., algunos expertos en conservación ecológica desestiman su papel para proteger la biodiversidad (Koleff *et al.*, 2009). Por otra parte, en el país, hoy en día 382, áreas protegidas (AP) de carácter federal, estatal y municipal, cuya extensión comprende 23,878,228 hectáreas, es decir 12% de la superficie del país (Koleff *et al.*, 2009). Destaca que las AP son reconocidas como uno de los instrumentos de conservación más importantes a nivel mundial (Cantú *et al.*, 2004).

El estado de Coahuila tiene una extensión de 151,572 km², lo que representa 7.7% de la superficie del territorio nacional; presenta un intervalo altitudinal de 129 a 3,701 m; cuenta con una población de 2,495,200 habitantes, de los cuales 68% se concentra en cinco de sus 38 municipios que en orden de importancia son: Saltillo (26%), Torreón (23.1%), Monclova (8%), Piedras Negras (5.8%), y Acuña con 5.1% (INEGI, 2005).

Para la entidad se reconocen tres grandes provincias fisiográficas: Grandes Llanuras de Norteamérica, la Sierra Madre Oriental y las Sierras y Llanuras del Norte; asociados a éstas se ubican diferentes tipos de vegetación, en respuesta a las condiciones edáficas y climáticas particulares, entre las que destacan las comunidades de matorral, bosques y de halófitas. Las variantes del matorral son las principales comunidades vegetales, y abarcan la mayor parte de las planicies bajas y altas, así como los lomeríos y partes bajas de las sierras. Lo constituyen diferentes formas biológicas, desde arbustos inermes hasta espinosos, con hojas pequeñas, áfilos, de tallos crasos, hojas espinosas y sus variantes intermedias. El matorral xerófilo se caracteriza por su extensa distribución y diversidad fisonómica, de cobertura, densidad y diversidad en las partes más áridas del estado, especialmente en su porción occidental, desde el norte hasta el sur; las principales variantes del matorral denominado xerófilo son cinco: matorral micrófilo, matorral rosetófilo, matorral de halófitas y gipsófitas, matorral submontano y matorral espinoso tamaulipeco (Villarreal y Valdés, 1993).

INTRODUCTION

After more than a decade of the implementation of the Environmental Management Units for the Conservation of Wildlife (UMA), there are contrasting opinions about the role that they have in the protection of biodiversity. They were created in 1997 by the Mexican Government as a tool to achieve productive systems compatible with the sustainable development premise. At present, there are 8,255 UMAs over 28.95 million hectares which correspond to 14.17% of the national territory (DGVS-SEMARNAT, 2008). However, from the cultural practices that are made on them such as predatory control, high fences, complementary food, etc., some experts in ecological conservation underestimate their role to protect biodiversity (Koleff *et al.*, 2009). On the other hand, there are 382 protected areas (PA) of federal, state and municipal scope, whose extent is 23,878,228 ha, that is 12% of the total area of the country (Koleff *et al.*, 2009); it is notorious that PA are acknowledged as one of the most important conservation instruments world wide (Cantú *et al.*, 2004).

Coahuila State has a territory of 151,572 km², that is, 7.7% of the country; its altitudinal range extends from 129 to 3,701 m; it has a population of 2,495,200 inhabitants, 68% of which is present at five of its 38 municipalities, that ordered by their importance, are the following: Saltillo (26%), Torreón (23.1%), Monclova (8%), Piedras Negras (5.8%) and Acuña (5.1%) (INEGI, 2005).

Three great physiographic provinces have been recognized for the State: Grandes Llanuras de Norteamérica, Sierra Madre Oriental and Sierras-and-Llanuras del Norte; associated with them are types of vegetation, in response to the edaphic and climatic particular conditions, among which outstand the communities of shrub, forests and halophytes. The variants of shrubs are the main vegetation communities and they cover the greatest part of the low and high plains, as well as slopes and the lower parts of the mountains. Different biological forms are present there, from unarmed to thorny shrubs, with small leaves, aphyllous, thick stems, thorny leaves and their in between variants. Xerophyllous brushland has a large distribution and great physiognomic diversity and biodiversity, as well as coverage and density in the driest part of the state, especially in the West section, from North to South; the main variants of the so called xerophyllous brushland are five: microphilous scrub, rosetophilous scrub, halophilous scrub and gypsophilous vegetation, sub-mountain shrub and tamaulipean thorn scrub (Villarreal and Valdés, 1993).

At present, the State of Coahuila has nine declared PA, seven of which are of federal jurisdiction, one of state and another of municipal jurisdiction, that together make up 2,328,673 ha, which covers 15.3% of its territory. Also, there are 833 UMA that include 4,300,063 ha, that is, 28.4% of the

En la actualidad, Coahuila cuenta con nueve AP decretadas, siete de las cuales son de jurisdicción federal, una estatal y otra municipal, que suman un total de 2,328,673 ha, lo que representa 15.3% de su territorio. Así mismo, existen 833 UMA que comprenden 4,300,063 ha, es decir, 28.4% de la superficie de la entidad; aunque, sólo 289 UMA (1,546,778 ha) están cartografiadas digitalmente en la base de datos de la Dirección General de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (DGVS-SEMARNAT, 2008) (Figura 1).

state, even though only 289 UMA (1,546,778 ha) are digitally mapped in the data base of the Wildlife General Direction of the Ministry of the Environment and Natural Resources (DGVS-SEMARNAT, 2008) (Figure 1).

The aim of the actual study was to assess if Coahuila's UMA make a contribution to the conservation of biodiversity by quantifying the cover of its natural vegetation (INEGI, 2005). Thus, as reference were taken the representativeness values in the PA network of Coahuila State and Mexico.

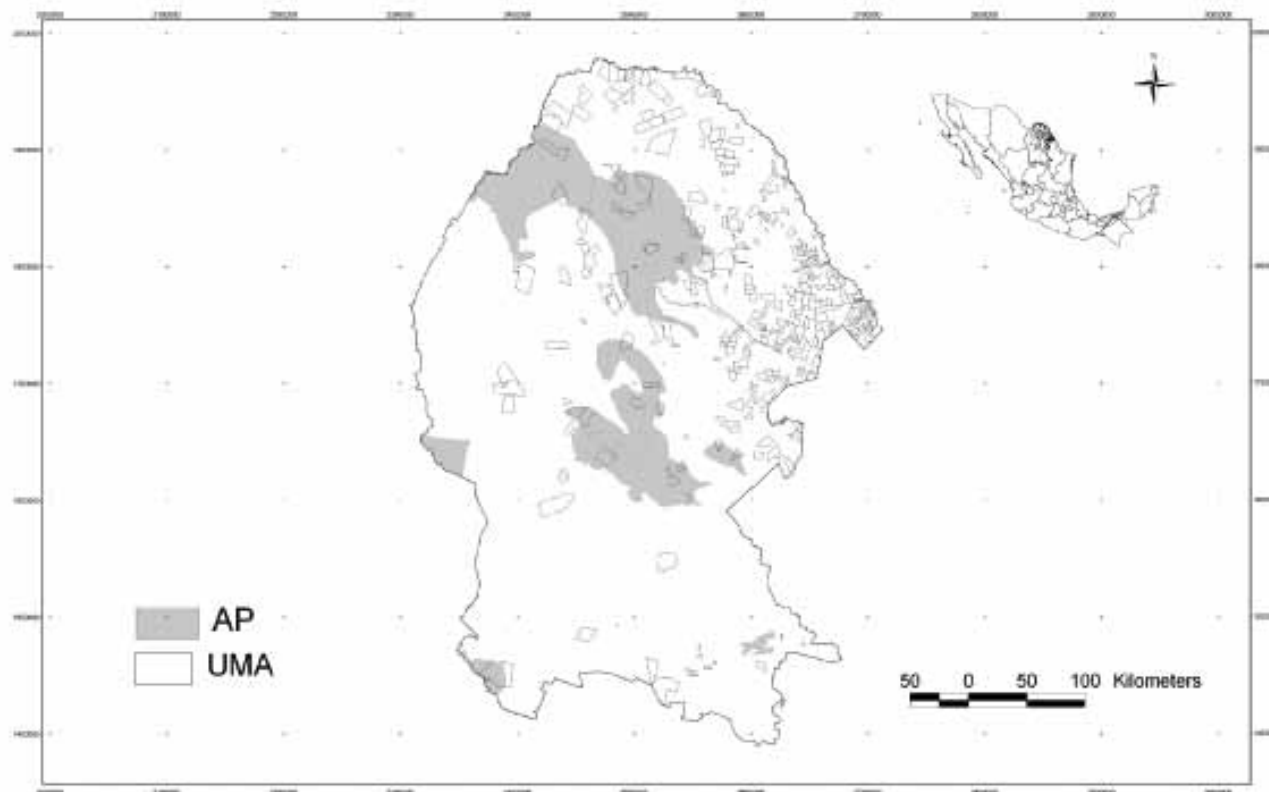


Figura 1. Áreas protegidas (AP) y unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) de Coahuila, México.
Figure 1. Protected Areas (PA) and Environmental Management Units for Wildlife Conservation (UMA) of Coahuila State, Mexico.

El objetivo del presente estudio fue evaluar si las UMA de Coahuila contribuyen a la conservación de la biodiversidad, mediante la cuantificación de la cobertura de su vegetación natural (INEGI, 2005); para ello se tomó como punto de referencia los valores de representatividad en la red de AP de Coahuila y de la República Mexicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó siguiendo la metodología desarrollada por el programa de análisis de vacíos y omisiones de

MATERIALS AND METHODS

The GAP method developed in the United States of America was used (Scott *et al.*, 1993; Cantú *et al.*, 2003; Cantú *et al.*, 2004) in order to carry out the experimental work as it is focused on the determination of the area ratio, in this case of the UMA, that represent biological diversity, and vegetation communities were considered as indicators. The available UMA in the cartographic data base of the Wild Life Direction of the Ministry of the Environment and Natural Resources (SEMARNAT) were used as well as the PA of federal, state and municipal jurisdiction from the data base of Coahuila State Government

conservación (GAP) de los Estados Unidos de América (Scott *et al.*, 1993, Cantú *et al.*, 2003, Cantú *et al.*, 2004) la cual consiste en determinar la proporción de superficie, en este caso de las UMA que representan la diversidad biológica y en la que se consideraron como indicadores las comunidades vegetales. Para ello, se utilizaron las UMA disponibles en la base de datos cartográficos de la Dirección General de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y las AP de jurisdicción federal, estatal y municipal de la base de datos del Gobierno del estado de Coahuila y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Se usó el mapa digital de uso del suelo y vegetación Serie III (INEGI, 2005). El análisis de elevación de las UMA, AP y tipos de vegetación se hizo a partir del modelo digital de elevación en formato reticulado de 1 km² de resolución (INEGI, 1998). Todas las cubiertas digitales fueron combinadas y analizadas con los programas ArcGis® versión 9.1 y ArcView® versión 3.2.

Así mismo, se utilizó el programa Multivariate Statistical Package MVSP 3.1 para el análisis de componentes principales con el cual se determinó la relación entre los tipos de vegetación, respecto a su representatividad en AP y las UMA no superpuestas a las AP. Dicho análisis muestra la distancia existente entre los dos grupos de variables. La longitud de las líneas de las variables indican la dirección de la máxima variación y su longitud es proporcional a la tasa de cambio; por consiguiente, los puntos (variables) en los bordes del diagrama (más alejados del origen) son de mayor relevancia e indican el grado de correlación entre las variables, mientras que los puntos más cercanos al centro son los de menor importancia.

RESULTADOS

En Coahuila se registran 289 UMA referenciadas geográficamente, que abarcan una extensión de 1,546,778 ha, equivalentes al 10.2% del territorio estatal, de éstas, 43 UMA se localizan dentro de alguna AP, por lo que 246 UMA, cuya extensión es de 1,327,133 ha, se ubican fuera de las AP estatales (Cuadro 1 y Figura 1).

Las nueve AP de Coahuila cubren un intervalo altitudinal que va de 255 msnm (Cuenca del Río Álamos y Río Sabinas) a 3,210 msnm (Sierra de Jimulco y Sierra de Zapalinamé); mientras que las UMA se extienden desde los 138 msnm que constituye el punto más bajo de la entidad, hasta los 3,307 msnm (Figura 2). Cabe destacar que el punto registrado con el modelo digital de elevación fue de 3,701 m.

La cubierta digital de uso del suelo y vegetación (INEGI, 2005), presenta 43 categorías de usos del suelo y tipos de vegetación, 25 de los cuales son de vegetación natural y el resto corresponde a usos antrópicos o de vegetación inducida. Siete tipos de las primarias no forman parte de las AP, es decir son

and the Natural Protected Areas National Commission (CONANP). The land-use and vegetation map III Series was used digital map (INEGI, 2005). The elevation analysis of the UMA, PA and types of vegetation was made from the digital elevation model in a grid format of 1 km² of resolution (INEGI, 1998). All the digital layers were combined and analyzed with the ArcGis® 9.1 and ArcView3.2® programs.

The Multivariate Statistical Package MVSP 3.1 was also used for the Principal Component Analysis by means of which was determined the relationship between the vegetation types in regard to the PA and UMA not overlapped to PA. Such analysis shows the distance the two groups of variables. The length of the variable lines points out the direction of maximum variation and its length is proportional to the change rate; thus, the points (variables) in the borders of the diagram (furthest from the origin) are of the utmost relevance and underline the degree of correlation among the variables, while the closer points to the center are of the least importance.

RESULTS

In Coahuila State there are 289 geo-referenced UMA in record, that cover 1,546,778 ha, which are equivalent to 10.2% of the state territory; of these, 43 UMA are located within some PA, which means that 246 UMA, 1,327,133 ha, are out of the PA boundaries (Table 1 and Figure 1).

The nine PA of Coahuila include an altitudinal range from 255 masl (Álamos River and Sabinas River Basins) to 3,210 masl (Jimulco Mountain Range and Zapalinamé Mountain Range); while UMA are present in places from 138 masl, that is the lowest site of the state, up to 3,307 masl (Figure 2). It is worth noticing that the registered point by the elevation digital model was 3,701 m.

The land use and vegetation digital layer (INEGI, 2005) shows 43 land use and types of vegetation categories, 25 of which are natural vegetation and the rest refer to anthropic uses or human-induced vegetation. Seven types of primary vegetation are not part of the PA, that is, they are conservation gaps. Another nine are declared as omissions of conservation, with covers in PA under the natural protected average (12%), among which the desert microphilous scrub is outstanding as the vegetation type with the second greatest cover in Coahuila (25%), after the desert rosetophilous scrub (32.7%)(Table 1).

By the for all the vegetation types it was possible to relate the cover of each of them to their area extended over the PA and the not overlapped UMA with PA. Three main groups stand out: (A) that includes the vegetation types not present at the PA network, that is, conservation gaps; (B) that includes the vegetation with greatest cover in PA, and (C) the vegetation communities with the greatest cover in UMA, from which the

vacíos de conservación. Otros nueve se citan como omisiones de conservación, con coberturas en AP por abajo de la media nacional protegida (12%), entre los que destacan el matorral desértico micrófilo, como el tipo de vegetación con la segunda mayor cobertura en Coahuila (25%), después del matorral desértico rosetófilo (32.7%) (Cuadro 1).

tamulipean thorn scrub that adds 296,486 ha to the 75,432 ha already present in PA, which means an increment of 500% in its cover (Figure 3).

In regard to the primary natural vegetation, there are 24 types of this sort in the state that cover 12,496,348 ha

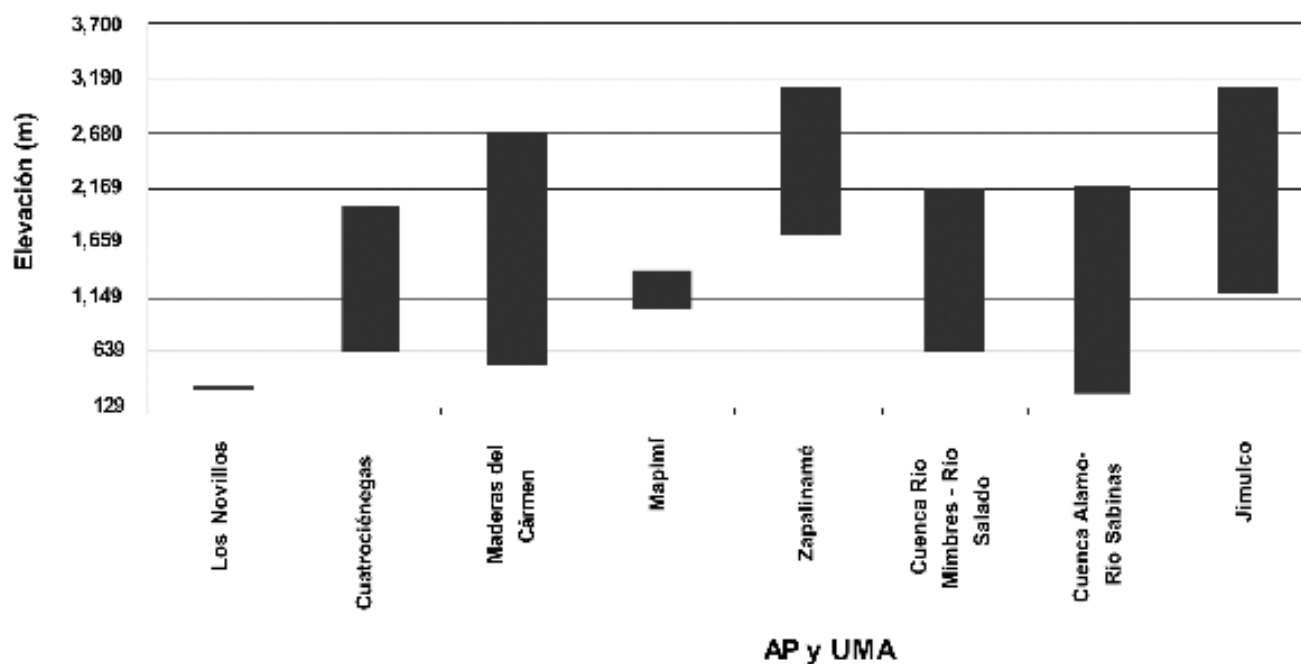


Figura 2. Intervalos altitudinales de las nueve áreas protegidas (AP) y unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) de Coahuila.

Figure 2. Altitude intervals of the nine protected areas (PA) and management units for the conservation of wildlife (UMA) of Coahuila State.

El análisis de componentes principales para los tipos de vegetación permitió relacionar la cobertura de cada uno de ellos respecto a su superficie en AP y las UMA no superpuestas con AP. Destacaron tres grupos principales de tipos de vegetación (Figura 3); el denominado (A) incluye los tipos de vegetación no representados en la red de AP, es decir vacíos de conservación. El grupo (B), comprende la vegetación con mayor cobertura en AP y, finalmente, el (C) incluye las comunidades vegetales con mayor cobertura en UMA, entre las que sobresale el matorral espinoso tamulipeco que incorpora 296,486 ha a las 75,432 ha existentes en AP, lo que representa un incremento de 500% de su cobertura (Figura 3). Cuadro 1. Relación de la superficie de los tipos de vegetación natural y uso del suelo (INEGI, 2005) en las AP y UMA de Coahuila.

that are equivalent to 83% of the state surface. The desert crasicaule scrub, conifer scrub, gypsophilous grassland and the high mountain prairie are not considered in the state PA network; however, its total cover is only of 12,413 ha. On the other hand, omissions of conservation are: the, halophilous vegetation, gypsophilous vegetation, mesquite forest, ayarin forest (*Pseudotsuga* sp. with *Picea* sp.) and the halophilous grassland add up to 5,715,871 ha which make 45.5% of the territory of Coahuila (Figure 4).

UMA cover 956,602 ha, from which 79% are located in places with four types of vegetation, that, according to their importance, are ordered as follows: primary, desert rosetophilous scrub, primary desert microphilous scrub and primary natural grassland (Figure 4). These UMA help to overcome the omissions

Cuadro 1. Relación de la superficie de los tipos de vegetación natural y uso del suelo (INEGI, 2005) en las AP y UMA de Coahuila.
Table 1. Areas of natural vegetation types and land use in the PA and UMA of Coahuila State.

Id.	Vegetación y Uso del Suelo (INEGI, 2005)	Coahuila (ha)	Coahuila (%)	AP (ha)	AP (%)	UMA Total (ha)	UMA Total (%)	AP+UMA fuera de AP (ha)	AP+UMA fuera de AP (%)
28	Mesquite SEC.	2486	0.02	0	0	393	15.8	393	15.6
2	Desque de ayarín SEC.	13,894	0.1	0	0	732	7.2	732	7.2
9	Desque de oyarín SEC.	658	0.01	0	0	0	0	0	0
17	Matorral crasicaule PRIM.	2387	0.02	0	0	0	0	0	0
18	Matorral de contras PRIM.	648	0.004	0	0	0	0	0	0
31	Pastizal gipsófilo PRIM.	9288	0.1	0	0	0	0	0	0
37	Frutal de alta montaña PRIM.	133	0.001	0	0	0	0	0	0
24	Matorral espinoso tamaulipeco SEC.	220,630	1.5	2,116	1.0	32,255	14.6	34,369	15.6
43	Vegetación halófila SFC.	72,467	0.5	734	1.0	0	0.0	704	1.3
38	Sin vegetación aparente ND.	68,678	0.5	2,057	3.0	2,255	3.3	4,288	5.2
22	Matorral desértico mesófilo SEC.	31,951	0.2	1,168	3.3	2,575	7.1	3,743	10.7
29	No aplicable (uso antrópico)	1,008,701	6.7	35,878	3.8	78,971	7.0	113,010	11.2
23	Matorral espinoso tamaulipeco PRIM.	1,348,842	9.9	73,317	5.4	344,893	25.8	412,981	30.7
12	Vegetación halófila PRIM.	158,408	3.0	33,633	8.7	8,218	2.0	39,834	9.7
33	Pastizal halófilo SEC.	72,777	0.5	4,938	6.9	1,220	1.7	6,158	9.5
41	Vegetación gipsófila PRIM.	45,188	0.3	3,100	6.9	2,448	5.4	5,318	11.8
34	Pastizal inducido ND.	196,212	1.3	14,739	7.5	17,019	9.0	31,134	15.9
20	Matorral desértico micrófilo SEC.	379,065	2.5	31,898	8.5	28,907	7.2	50,833	13.6
27	Mesquite PRIM.	73,871	0.5	6,380	8.6	19,724	27.8	25,885	36.2
19	Matorral desértico micrófilo PRIM.	3,398,653	22.6	288,422	8.8	270,315	8.0	558,728	16.4
1	Resque de ayarín PRIM.	12,281	0.1	1,262	10.3	346	2.8	1,808	13.1
32	Pastizal halófilo PRIM.	318,864	2.1	34,874	10.9	22,177	7.0	56,314	17.7
12	Resque de pino PRIM.	169,124	1.1	25,327	15.0	8,817	5.8	30,833	18.2
21	Matorral desértico mesófilo PRIM.	4,687,768	32.5	761,065	15.6	421,284	8.6	1,111,809	22.7
13	Resque de pino SEC.	113,502	0.8	23,235	17.8	4481	4.0	24,166	21.3
7	Resque de galería PRIM.	139	0.001	28	20.1	0	0	28	20.1
8	Resque de oyarín PRIM.	2,031	0.01	412	20.3	312	15.4	412	20.3
35	Pastizal natural PRIM.	510,509	3.4	130,619	25.6	66,099	16.9	158,016	38.8
14	Resque de lechete PRIM.	15,808	0.1	1,513	23.7	1,971	12.5	5,978	37.8
4	Resque de encino-pino SEC.	110,494	0.7	39,377	35.6	10,041	9.1	42,502	38.5
11	Resque de pino-encino SEC.	6236	0.04	2,292	36.2	1,801	28.4	2,302	36.3
36	Pastizal natural SEC.	89,958	0.6	35,657	40.1	12,661	14.1	40,769	41.4
40	vegetación de galería PRIM.	2,530	0.02	1,071	42.3	209	7.9	1,271	50.2
2b	Matorral submontano PRIM.	634,261	3.5	241,296	43.2	67,092	12.6	287,152	43.7
39	Vegetación de desertos arenosos PRIM.	31,673	0.2	42,814	46.7	0	0	42,814	46.7
15	Chaparral ND.	367,667	2.4	183,718	50.0	38,783	10.6	206,085	56.1
3	Resque de encino-pino PRIM.	68,023	0.5	38,078	55.2	8,580	12.4	30,018	57.9
10	Resque de pino-encino PRIM.	37,471	0.2	22,025	58.8	7,380	18.9	22,231	59.5
5	Resque de encino PRIM.	146,430	1.0	37,514	65.7	16,651	11.2	101,301	68.2
26	Matorral submontano SEC.	33,841	0.3	27,154	68.2	4,805	12.1	28,427	71.4
6	Resque de encino SEC.	125,018	0.8	85,538	68.5	22,758	18.2	69,687	71.9
16	Chaparral SEC.	13,899	0.1	8,852	90.1	318	3.2	8,852	90.1
30	Palmar inducido ND.	1,545	0.01	1,535	99.4	0	0	1,535	99.4
		15,052,658	100	2,311,291	15.1	1,546,778	10.3	3,638,125	24.2

Fuente: INEGI (2005). PRIM: primaria; SEC: secundaria; ND: no determinado; AP (%), UMA Total (%) y AP+UMA fuera AP (%), representan la proporción de la extensión de cada tipo de vegetación en Coahuila. Sólo para Coahuila (%) se refiere a la proporción de cada categoría respecto a la superficie total del estado.
Source: INEGI (2005). PRIM= primary; SEC= secondary; ND= non determined; AP (%), UMA Total (%) and AP+UMA beyond PA (%) are the proportion of the extent of each type of vegetation in Coahuila. Only for Coahuila (%) it refers to the proportion of each category in regard to the total area of the State.

El análisis de componentes principales para los tipos de vegetación permitió relacionar la cobertura de cada uno de ellos respecto a su superficie en AP y las UMA no superpuestas con AP. Destacaron tres grupos principales de tipos de vegetación (Figura 3); el denominado (A) incluye los tipos de vegetación no representados en la red de AP, es decir vacíos de conservación. El grupo (B), comprende la vegetación con mayor cobertura en AP y, finalmente, el (C) incluye las comunidades vegetales con mayor cobertura en UMA, entre las que sobresale el matorral espinoso tamaulipeco

of conservation of five types of vegetation in primary state: tamaulipean thorn scrub, mesquite forest, desert microphilous scrub, ayarín forest and the halophilous grassland, as well as to increase the cover are in PA of 18 natural vegetation types more (Figure 4).

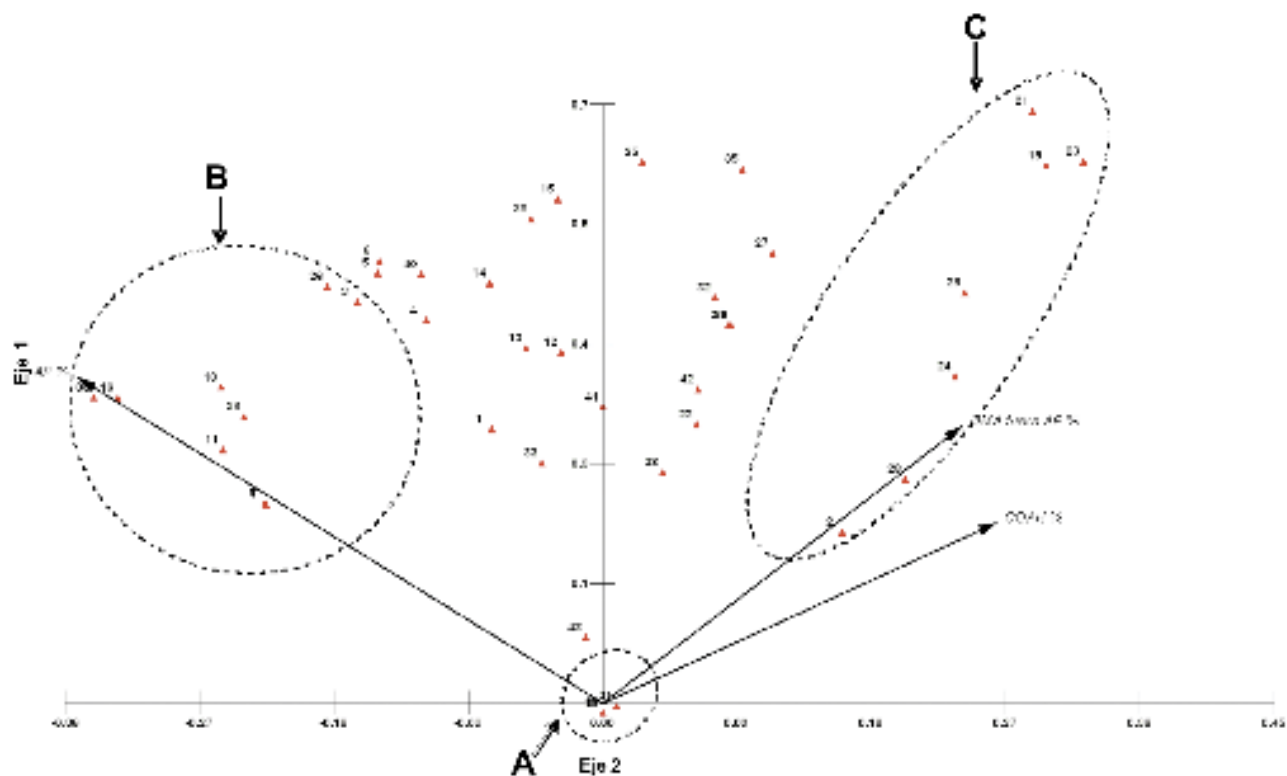


Figura 3. Diagrama Biplot basado en el análisis de componentes principales de la superficie de cada tipo de vegetación y uso del suelo de Coahuila (COAH %), respecto a su nivel de representación en las áreas protegidas (AP %) y las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre no superpuestas a las AP (UMA fuera AP %). Los números representan los tipos de vegetación descritos en el Cuadro 1.

Figure 3. Biplot diagram based on the Principal Component Analysis of the surface covered by each type of vegetation and land use of Coahuila (COAH %), in regard to their representation level in protected areas and management units for the conservation of wildlife (UMA) not overlapped to PA (UMA out of PA %). The numbers represent the types of vegetation described in Table 1.

que incorpora 296,486 ha a las 75,432 ha existentes en AP, lo que representa un incremento de 500% de su cobertura (Figura 3).

En cuanto a la vegetación natural primaria, en la entidad hay 24 tipos en esta condición y cubren 12,496,348 hectáreas que equivalen 83% de la superficie estatal. El matorral crasicale, matorral de coníferas, pastizal gipsófilo y la pradera de alta montaña no están representadas en la red de AP estatal; sin embargo, su cobertura total es de sólo 12,514 ha. Por otra parte, son omisiones de conservación: matorral espinoso tamaulipeco, vegetación halófila, vegetación gipsófila, mezquital, bosque de ayarín, pastizal halófilo, que en suma hacen 5,715,871 ha y con 45.5% de la superficie de Coahuila (Figura 4).

Las UMA cubren 956,602 ha, de esa superficie 79% se localizan en sitios con cuatro tipos de vegetación en orden de importancia: matorral espinoso tamaulipeco primario,

DISCUSSION

Coahuila is the third Mexican state in regard to extent, after Chihuahua and Sonora States. The primary natural vegetation is distributed in 83% of its 151,572 km² (INEGI, 2005).

The Principal Component Analysis is an easy and practical method which were identified the vegetation communities based on their cover level, the PA and UMA beyond the AP, and in a graphic way, the degree of correlation of these three variables. In addition, it favours to structure one data group obtained from a population whose probability distribution needs not be known, since it is a mathematical technique that does not demand a statistical model to explain the probability structure of errors (Pla, 1986).

From the physiognomy, similarity of ecologic conditions and their floristic affinities, Villarreal and Valdés (1993)

matorral desértico rosetófilo primario, matorral desértico micrófilo primario y pastizal natural primario (Figura 4).

Las UMA contribuyen a superar las actuales omisiones de conservación de cinco tipos de vegetación en condición primaria: matorral espinoso tamaulipeco, mezquital, matorral desértico micrófilo, bosque de ayarín y pastizal halófilo, así como a incrementar la superficie de cobertura en AP de otros 18 tipos de vegetación natural (Figura 4).

acknowledge 13 vegetation communities in Coahuila State: 1) microphilous scrub, 2) rosetophilous scrub, 3) halophilous and gypsophilous scrubs, 4) tamaulipean thorn scrub, 5) sub-mountain scrub, 6) oak forest, 7) stone pine forest 8) pine forest 9) fir forest, 10) pine-oak forest, 11) alpine and subalpine vegetation, 12) grasslands and 13) riparian vegetation. In the actual study, according to the analysis of the Series III map of land use and vegetation (INEGI, 2005), outstand three types of primary vegetation in the state

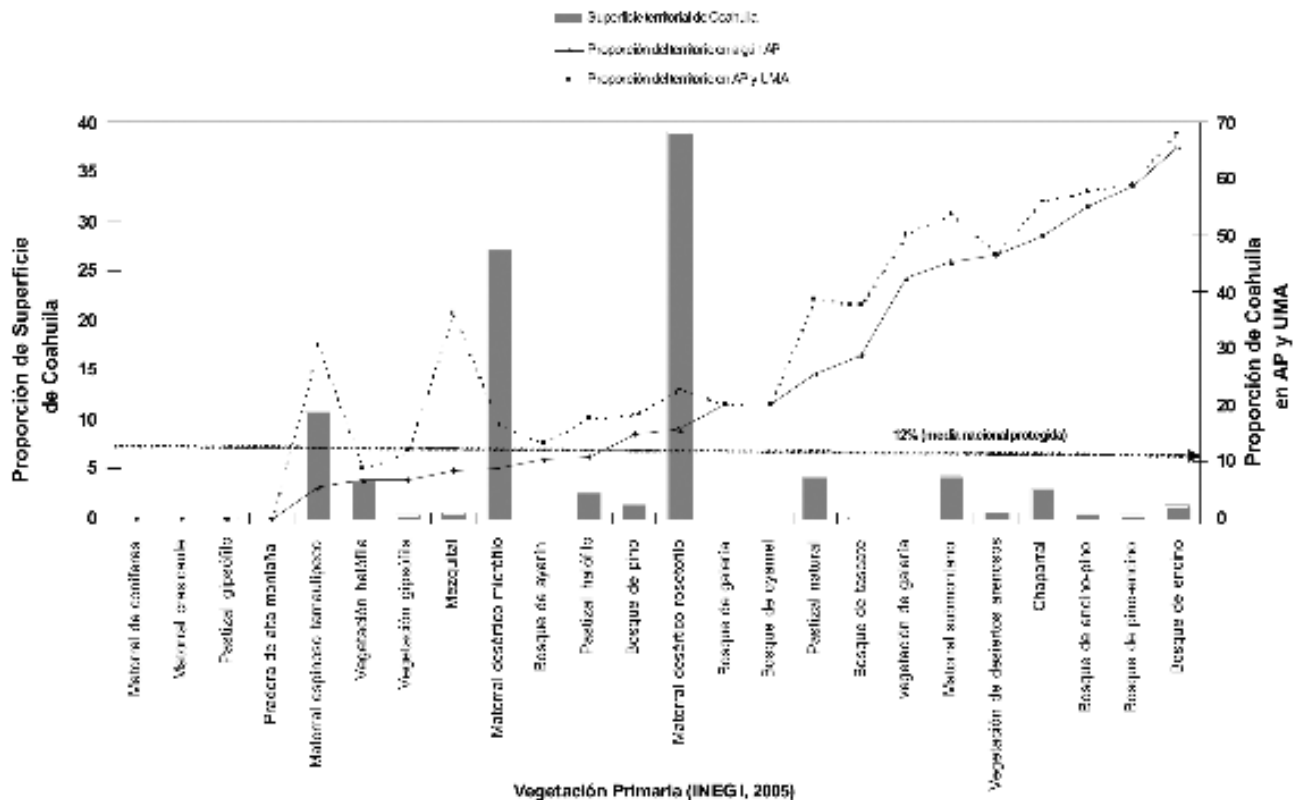


Figura 4. Relación proporcional de los tipos de vegetación natural primaria (INEGI, 2005) en Coahuila respecto a su cobertura en AP y UMA.

Figure 4. Proportional relation of the primary natural vegetation types (INEGI, 2005) in Coahuila state.

DISCUSIÓN

Coahuila es el tercer estado de la República Mexicana en extensión, después de Chihuahua y Sonora. La vegetación natural primaria cubre 83% de sus 151,572 km² (INEGI, 2005).

El análisis de componentes principales es un método práctico y sencillo con el cual se identificaron las comunidades vegetales con base en su nivel de cobertura, las AP y UMA fuera de AP y, de manera gráfica, el nivel de correlación de estas tres variables. Además permite la estructuración de un

context for their great cover: desert rosetophilous scrub, desert microphilous scrub and tamaulipean thorn scrub, which, as a group, represent 63.5% of the state territory and 77% of the total primary vegetation.

The present PA network of Coahuila does not integrate properly its vegetation types since only 14 out of its 24 types of primary natural vegetation are included over the national protected average (12%) within the limits of its PA. This means that 10 types of natural vegetation, that extend over 47% of its area, are not represented, or even, are underrepresented in the PA.

conjunto de datos, obtenidos de una población cuya distribución de probabilidades no necesita ser conocida, ya que se trata de una técnica matemática que no requiere un modelo estadístico para explicar la estructura probabilística de los errores (Pla, 1986).

A partir de las características fisonómicas, similitudes en condiciones ecológicas, y sus afinidades florísticas, Villarreal y Valdés (1993) reconocieron 13 comunidades vegetales para Coahuila: 1) matorral micrófilo, 2) matorral rosetófilo, 3) matorrales de halófitas y gipsófitas, 4) matorral tamaulipeco, 5) matorral submontano, 6) bosque de encino, 7) bosque de pino piñonero, 8) bosque de pino, 9) bosque de oyamel, 10) bosque de pino-encino, 11) vegetación alpina-subalpina, 12) zacatales y 13) vegetación riparia. En el presente estudio, de acuerdo al análisis del mapa de uso del suelo y vegetación Serie III (INEGI, 2005), destacaron en el contexto estatal por su gran cobertura tres tipos de vegetación primaria: matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo y matorral espinoso tamaulipeco, los cuales representan en su conjunto 63.5% del territorio de la entidad y 77% del total de vegetación primaria.

La actual red de AP de Coahuila no integra a sus tipos de vegetación, ya que tan sólo 14 de sus 24 tipos están incluidos por encima de la media nacional protegida (12%) dentro de los límites de sus AP. Esto significa que 10 tipos de vegetación natural, que se extienden en 47% de su superficie, no están representados, o bien están sub-representados en las AP.

Las UMA de Coahuila tienen una cobertura territorial que casi duplica la superficie de AP. Sin embargo, nada más se cuenta con información cartográfica de 289, de las 833 UMA existentes (SEMARNAT, 2008). No obstante estas 289 UMA cubren 1,546,778 hectáreas, equivalentes a 10.3% de la superficie estatal. Aunque, se debe considerar que 219,645 ha de estas UMA se ubican dentro de AP, por lo el área de las UMA fuera de las AP suman en 1,327,133 ha, es decir 8.8% del estado de Coahuila. Si se añade a la superficie de las AP, la de las UMA se alcanzan las 3,638,425 de ha, casi una cuarta parte del territorio de la entidad.

Las UMA se extienden desde los 138 msnm, el punto más bajo de Coahuila, hasta los 3,307 msnm, intervalo altitudinal más amplio que el de las AP. Las UMA incluyen dentro de sus límites los mismos tipos de vegetación que las AP, con excepción del bosque de galería y la vegetación de desiertos arenosos. Los sitios con vegetación primaria, en los que se localiza 72.6% de 1,546,778 ha de AP, son en orden de cobertura: matorral desértico rosetófilo, matorral espinoso tamaulipeco, matorral desértico micrófilo y pastizal natural.

The UMA of Coahuila covers a territory that almost doubles the area of the PA. However, there is only cartographic information of 289 of the 833 UMA that exist (SEMARNAT, 2008). Nevertheless, these 289 UMA cover 1,546,778 ha, that are equivalent to 10.3% of the state area, even though it must be taken into account that 219,645 ha of these UMA are in a PA; thus, the UMA area beyond PA make up 1,327,133 ha, that is, 8.8% of Coahuila's territory. If the area of UMA is added to that of AP, 3,638,425 ha result, which almost stand for a quarter of the State.

UMA extend from 138 masl to 3,307 masl, an altitude interval broader than that of the PA. Within its boundaries, UMA include the same types of vegetation that the PA, except for gallery forests and sandy desert vegetation. The places with primary vegetation, in which is found 72.6% of the 1,546,778 ha of PA, are in terms of cover: tamaulipan thorn scrub, desert microphilous scrub and natural grassland.

In the desert rosetophilous scrub the dominant species are: *Agave lechuguilla* Torr. (lechuguilla) y *Dasyllirion cedrosanum* Trel. (sotol); en el matorral espinoso tamaulipeco: *Acacia rigidula* Benth. (chaparro prieto), *Havardia pallens* (Benth.) Britton et Rose (tenaza), *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby et J. W. Grimes (ébano), *Prosopis laevigata* (Willd.) M.C. Johnst. (mezquite), *Forestiera angustifolia* Torr. (panalero), *Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg. (colima), *Karwinskia humboldtiana* (Willd.) ex Roem. et Schult. Zucc. (tullidora), *Lantana macropoda* Torr. (lantana), *Cordia boissieri* A. DC. (anacahuita) and *Leucophyllum texanum* Benth. (cenizo); in the desert microphilous scrub: *Larrea tridentata* (Sessé et Moc. ex DC.) Coville (gobernadora), *Flourensia cernua* DC. (hojasén), *Parthenium incanum* Kunth (mariola) and *Prosopis glandulosa* Torr. (mezquite).

In the natural grasslands, particularly the climatic types, the following species are outstanding: *Bouteloua gracilis* Lag., *B. curtipendula* (Michx.) Torr., *B. hirsuta* Lag., *Aristida adscensionis* L., *A. barbata* E. Fourn., *A. purpurea* Nutt., *Digitaria californica* (Benth.) Henrard, *Enneapogon desvauxii* P. Beauv., *Eragrostis cilianensis* (All.) Janch., *E. mexicana* (Hornem.) Link., *E. pilosa* (L.) P. Beauv., *Heteropogon contortus* (L.) P. Beauv. ex Roem. et Schult., *Lycurus phleoides* Kunth, *Muhlenbergia emersleyi* Vasey, *M. montana* (Nutt.) Hitchc., *M. porteri* Scribn. ex Beal, *M. rigida* (Kunth) Kunth, *Nassella leucotricha* (Trin. et Rupr.) Pohl, *Panicum hallii* Vasey, *P. obtusum* Kunth, *Paspalum pubiflorum* E. Fourn., *Polypogon viridis* (Gouan) Breistr., *Setaria leucopila* (Scribn. et Merr.) K. Schum., *Stipa eminens* Cav. En los pastizales edáficos: *Bouteloua chasei* Swallen, *Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm., *Scleropogon brevifolius* Phil., *Hilaria swallenii* Cory, *Monanthochloa littoralis* Engelm., *Muhlenbergia gypsophila* C. Reeder et Reeder, *M. repens* (J. Presl) Hitchc., *Panicum bulbosum* Kunth and *Sporobolus airoides* (Torr.) Torr. (Villarreal, 2001; Villarreal and Valdés, 1993).

Destacan como especies dominantes de estas comunidades, para el matorral desértico rosetófilo: *Agave lechuguilla* Torr. (lechuguilla) y *Dasyllirion cedrosanum* Trel. (sotol); en el matorral espinoso tamaulipeco: *Acacia rigidula* Benth. (chaparro prieto), *Havardia pallens* (Benth.) Britton et Rose (tenaza), *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby et J. W. Grimes (éban), *Prosopis laevigata* (Willd.) M.C. Johnst. (mezquite), *Forestiera angustifolia* Torr. (panalero), *Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg. (colima), *Karwinskia humboldtiana* (Willd. ex Roem. et Schult.) Zucc. (tullidora), *Lantana macropoda* Torr. (lantana), *Cordia boissieri* A. DC. (anacahuíta) y *Leucophyllum texanum* Benth. (cenizo); para el matorral desértico micrófilo: *Larrea tridentata* (Sessé et Moc. ex DC.) Coville (gobernadora), *Flourensia cernua* DC. (hojasé), *Parthenium incanum* Kunth (mariola) y *Prosopis glandulosa* Torr. (mezquite).

Para el pastizal natural se distinguen, en los pastizales climáticos: *Bouteloua gracilis* Lag., *B. curtipendula* (Michx.) Torr., *B. hirsuta* Lag., *Aristida adscensionis* L., *A. barbata* E. Fourn., *A. purpurea* Nutt., *Digitaria californica* (Benth.) Henrard, *Enneapogon desvauxii* P. Beauv., *Eragrostis cilianensis* (All.) Janch., *E. mexicana* (Hornem.) Link., *E. pilosa* (L.) P. Beauv., *Heteropogon contortus* (L.) P. Beauv. ex Roem. et Schult., *Lycurus phleoides* Kunth, *Muhlenbergia emersleyi* Vasey, *M. montana* (Nutt.) Hitchc., *M. porteri* Scribn. ex Beal, *M. rigida* (Kunth) Kunth, *Nassella leucotricha* (Trin. et Rupr.) Pohl, *Panicum hallii* Vasey, *P. obtusum* Kunth, *Paspalum pubiflorum* E. Fourn., *Polypogon viridis* (Gouan) Breistr., *Setaria leucopila* (Scribn. et Merr.) K. Schum., *Stipa eminens* Cav.; mientras que en los pastizales edáficos: *Bouteloua chasei* Swallen, *Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm., *Scleropogon brevifolius* Phil., *Hilaria swallenii* Cory, *Monanthochloe littoralis* Engelm., *Muhlenbergia gypsophila* C. Reeder et Reeder, *M. repens* (J. Presl) Hitchc., *Panicum bulbosum* Kunth, *Sporobolus airoides* (Torr.) Torr. (Villarreal, 2001; Villarreal y Valdés, 1993).

Otro aspecto muy importante se refiere a que las UMA forman corredores entre las AP existentes, principalmente en la región norte, entre las Cuencas del Río Salado y Álamos.

Las UMA contribuyen a superar las actuales omisiones de conservación de cinco tipos de vegetación en condición primaria: mezquital, matorral desértico micrófilo, bosque de ayarín, pastizal halófilo, matorral espinoso tamaulipeco y vegetación halófila. De ellos sobresale el matorral espinoso tamaulipeco, comunidad vegetal endémica del noreste de México y sur de Texas, que en las AP de Coahuila apenas ocupa 5.4% de su extensión en la entidad, y en las UMA no superpuestas a las AP se ubica más del 25% de distribución estatal.

A pesar de que el papel de las UMA en la conservación de la biodiversidad es controversial, ya que no se ha evaluado sistemáticamente su contribución a la conservación *in situ* de

Another very important matter refers to the fact that UMA form pathways among the present PA, mainly in the Northern region, between the Salado and Álamos River Basins. Also, they help to overcome the present omissions of conservation of six types of primary vegetation: mesquite forest, desert microphilous scrub, ayarin forest, halophilous grassland, tamaulipean thorn scrub and halophilous vegetation. From them, the tamaulipean thorn scrub is notorious as a vegetation endemic community of Northeastern Mexico and South of Texas, that in the PA of Coahuila covers hardly 5.4% of its territory and in the not overlapped PA it is present in more than 25% of its State distribution.

In spite of the controversial role that UMA have in the conservation of biodiversity, since it has not been systematically assessed their contribution to *in situ* conservation of the native wildlife (Koleff *et al.*, 2009), it must be taken into account that in some PA are performed management activities that are opposite to the principles of conservation. Thus, it is necessary to analyze carefully the UMA of Coahuila to determine if the management practices that they carry out make a real contribution to the conservation of biodiversity.

About hunting tourism it was observed an annual increment of 8.8% of national and 10% of foreign hunters. Its economic effect, for the States of Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sonora and Tamaulipas, it is around US\$223 million, when the direct and indirect economic contribution produced by this activity (Guajardo-Quiroga and Martínez-Muñoz, 2004). However, the present insecurity that prevails in some parts of Mexico has favored a reduction of the demand by hunters, mainly at the Northeast of Mexico.

Gallina-Tessaro *et al.* (2009) discuss that the economic importance that comes from harvesting in UMA has not been properly studied, but in a first approach, it suggests an economic contribution of US\$233 million. This is a conservative estimate, since it considers just the major hunting harvested species.

Management plans of UMA as crucial elements to carry on actions to preserve biodiversity in Mexico have the same problems as Wildlife Refuges of the United States of America do, since to get, synthesize and understand all the scientific information that exists may be a hard task (Schroeder *et al.*, 2009), specially if it is taken into account that in Mexico there are 8,255 UMA, over 28.95 million ha, while in Coahuila State 833 over 4.3 million ha have been identified, which mean a great challenge for the managers of these significant conservation instruments.

Based upon the former results, it is clear that the great defiance for the authorities and responsible management technicians of UMA is to apply actions that, from sustainable development premises, favor economically attractive activities environmentally friendly that guarantee the good progress ecological processes in

la vida silvestre nativa (Koleff *et al.*, 2009), se debe considerar que de igual manera en algunas AP se realizan actividades de manejo contrarias a los principios de conservación. Es por ello que resulta necesario analizar con detalle las UMA de Coahuila, para determinar si las prácticas de manejo que se realizan efectivamente contribuyen a la conservación de la biodiversidad.

En cuanto al turismo cinegético, se observó un incremento anual del 8.8% de cazadores nacionales y 10% internacionales. Su efecto económico, tan sólo por la actividad cinegética, para los estados de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas es del orden de 2,900 millones de pesos, cuando se considera la derrama directa e indirecta generada por la actividad (Guajardo-Quiroga y Martínez-Muñoz, 2004). Sin embargo, el actual clima de inseguridad que priva en México ha generado una marcada disminución en la demanda de esta actividad por parte de los cazadores nacionales y extranjeros, principalmente en el noreste de México.

Gallina-Tessaro *et al.* (2009) consignan que la importancia económica derivada del aprovechamiento en las UMA no ha sido estimada a detalle, pero una primera aproximación indica una derrama económica superior a los 3,029 millones de pesos. La estimación anterior es conservadora, pues únicamente considera las principales especies cinegéticas aprovechadas.

La importancia de los planes de manejo de las UMA como elementos clave para instrumentar actividades para conservar la biodiversidad en México presentan los mismos problemas que los planes de manejo de los Refugios de Vida Silvestre en Estados Unidos de América, ya que la obtención, síntesis y comprensión de toda la información científica que existente, puede ser una tarea bastante difícil de realizar Schroeder *et al.* (2009). Sobre todo, si se considera que en México hay 8,255 UMA, cubriendo 28.95 millones de hectáreas; mientras que en Coahuila, se identifican 833 UMA que ocupan 4.3 millones de hectáreas, lo que representa un gran reto para los manejadores de estos importantes instrumentos de conservación.

Con base en lo anterior, se desprende que el gran reto para las autoridades y manejadores de las UMA es implementar medidas de manejo que, a partir de las premisas del desarrollo sustentable, propicien actividades económicamente atractivas, y ambientalmente compatibles para permitir que los procesos ecológicos se desarrollen de manera adecuada, para proteger la biodiversidad y que, en suma, contribuyan al aumento del bienestar social de todas las grupos humanos involucrados.

order to protect biodiversity and that, as a whole, help to increase the social welfare of all the human groups involved.

CONCLUSIONS

Las 833 UMA registradas para Coahuila cubren 28.4% de la superficie del estado; mientras que sus nueve AP representan 15.3% de su territorio.

The 833 registered UMA in Coahuila state extend over 28.4% of its territory, while the nine PA cover 15.3%.

The primary desert rosetophilus scrub, the primary desert microphilous scrub and the primary natural grassland are the vegetation types present in 79% of the area that belongs to the 289 UMA.

UMA extend over more than 25% of the tamaulipean thorn scrub and the primary mesquite forest, at present underrepresented in the PA network of the state; so, they could help, if sustainably managed, to the conservation of biodiversity and of the natural protection layers of soil.

The not overlapped UMA to PA include 296,486 ha of tamaulipean thorn scrub to the 75,432 ha that already exist in PA, which is an increment of 500% of the cover of this great type of vegetation endemic in the Northeast of Mexico and seriously threatened by anthropic activities. 🌱

ACKNOWLEDGEMENTS

It was possible to accomplish this research in regard to the financial support provided by CONAVYT to the Project "Las Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA), en la Conservación de la Biodiversidad en el noreste de México" (SEP-CONACYT. Ciencias Básicas-2007. Clave: 82625). The authors would like to thank, as well, the unknown reviewers of this paper for their wise criticism and suggestions to improve its quality.


End of the English version

CONCLUSIONES

Las 833 UMA registradas para Coahuila cubren 28.4% de la superficie del estado; mientras que sus nueve AP representan 15.3% de su territorio.

Los cuatro tipos de vegetación en los que se localiza 79% de la superficie correspondiente a las 289 UMA son: matorral espinoso tamaulipeco primario, matorral desértico rosetófilo primario, matorral desértico micrófilo primario y pastizal natural primario.

Las UMA cubren más del 25% de la extensión del matorral espinoso tamaulipeco y mezquital primarios, actualmente sub-representados en la red de AP del estado, por lo que éstas, podrían contribuir, de ser manejadas sustentablemente a la conservación de la biodiversidad, y de la cobertura natural del suelo.

Las UMA no superpuestas a las AP, incorporan 296,486 ha de matorral espinoso tamaulipeco a las 75,432 ha existentes en AP, lo que representa un incremento de 500% de la cobertura de este importante tipo de vegetación, endémico en el noreste de México y seriamente amenazado por actividades antrópicas. 

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento del CONACYT, proyecto "Las Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA), en la Conservación de la Biodiversidad en el noreste de México" (SEP-CONACYT. Ciencias Básicas-2007. Clave: 82625). Así mismo, los autores expresan su agradecimiento a los revisores anónimos, por sus críticas y atinadas sugerencias para mejorar el presente escrito.

REFERENCIAS

- Cantú, C., R. G. Wright, J. M. Scott and E. Strand. 2003. Conservation assessment of current and proposed reserves of Tamaulipas state, Mexico. *Natural Areas Journal* 23: 220-228.
- Cantú, C., R. G. Wright, J. M. Scott and E. Strand. 2004. Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity. *Biological Conservation* 115: 411-417.
- Dirección General de Vida Silvestre, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (DGVIS-SEMARNAT). 2008. Base de datos de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) de México. México. D.F. México. s/p.
- Gallina-Tessaro, S., A. Hernández-Huerta, C. Delfín-Alfonso, A. González-Gallina. 2009. Unidades para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre en México (UMA). Retos para su correcto funcionamiento. *Investigación Ambiental*. 1 (2): 143-152.
- Guajardo-Quiroga, R. G. y A. Martínez-Muñoz. 2004. Cuantificación del impacto económico de la caza deportiva en el norte de México y perspectivas de su desarrollo. *Entorno Económico* 42: 1-17.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1998. Modelo digital del terreno. Escala 1:250,000, Aguascalientes, Ags. México. s/p.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, Serie 3 (continuo nacional), escala 1:250 000. Aguascalientes, Ags. México. s/p.
- Koleff, P., M. Tambutti, I. J. March, R. Esquivel, C. Cantú, A. Lira-Noriega *et al.* 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México. *In: Comps. Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México, D.F. México. pp. 651-718.
- Pla, L. 1986. Análisis florístico de vegetación natural. En: Análisis multivariado: método de componentes principales. *In: Chesneau, E. V. (Ed.) Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Washington, D.C. USA. pp. 49-78.*
- Schroeder, R., R. Medellín, O. Ramírez y A. Rojo. 2009. La importancia de los objetivos de hábitat en los Planes de Manejo de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA). *Investigación Ambiental*. 1 (2): 136-142.
- Scott, J. M., F. Davis, B. Csuti, R. Noss, B. Butterfield, C. Groves, H. Anderson, S. Caicco, F. D'Erchia, T. C. Edwards, Jr., J. Ullman and R. G. Wright. 1993. Gap Analysis: a geographic approach to the protection of biological diversity. *Wildlife Monographs* 123: 1-41.
- Villarreal Q., J. A. y J. Valdés R. 1993. Vegetación de Coahuila, México. *Revista de Manejo de Pastizales* Vol. 6(1-2): 9-18.
- Villarreal Q., J. A. 2001. Flora de Coahuila. listados florísticos de México. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. México. 136 pp.

CONSEJO ARBITRAL INTERNACIONAL

Argentina

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.- M.Sc. Leonel Harrand
Museo Argentino de Ciencias Naturales.- Dra. Ana María Faggi

Canadá

Université Laval, Québec.- Ph. D. Roger Hernández.

Cuba

Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical.- Dra. Amelia Capote Rodríguez
Unión Nacional de Escritores y Artistas de Cuba.- Dra. Raquel Carreras Rivero

Chile

Universidad del Bío Bío.- Dr. Rubén Andrés Ananías Abuter

España

CIFOR-INIA.- Dr. Eduardo López Senespleda, Dr. Gregorio Montero González, Dr. Sven Mutke Regneri
Fundación CEAM.- Dra. María José Sáenz Sánchez
Universidad de Oviedo.- Dr. Elías Afif Khouri
Universidad Politécnica de Madrid.- Dr. Alfredo Blanco Andray, Dr. Luis Gil Sánchez, Dr. Alfonso San Miguel-Ayanz,
Dr. Eduardo Tolosana, Dr. Santiago Vignote Peña

Estados Unidos de América

New Mexico State University.- Ph.D. John G. Mexal
Northern Arizona University .- Ph.D. Peter Z. Fulé
University of Colorado at Denver.- Ph.D. Rafael Moreno Sánchez
University of Florida.- Ph.D. Francisco Javier Escobedo Montoya
United States Department of Agriculture, Forest Service.- Dr. Mark E. Fenn, Dr. Carlos Rodríguez Franco

Italia

International Plant Genetic Resources Institute.- Dra. Laura K. Snook

CONSEJO ARBITRAL NACIONAL

Asociación Mexicana de Arboricultura.- Dr. Daniel Rivas Torres.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.- Dr. José F. Conrado Parraguirre Lezama.

Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C. (CIDE).- Dr. Alejandro José López-Feldman
CENTROGEO / CONACYT.- Dra. Alejandra López Caloca.

Colegio de Postgraduados.- Dr. Arnulfo Aldrete, Dr. Dionicio Alvarado Rosales, Dr. Víctor M. Cetina Alcalá,
Dra. Ma. de Lourdes de la Isla de Bauer, Dr. Héctor M. de los Santos Posadas, Dr. Armando Equihua Martínez,
Dr. Ronald Ferrara-Cerrato, Dr. Edmundo García Moya, Dr. Jesús Jasso Mata, Dr. Lauro López Mata, Dr. Javier López Upton,
Dr. Martín Alfonso Mendoza Briseño, Dr. Antonio Trinidad Santos, Dr. Juan Ignacio Valdés Hernández,
Dr. José René Valdez Lazalde, Dr. J. Jesús Vargas Hernández, Dra. Heike Dora M. Vibrans Lindemann

El Colegio de la Frontera Sur.- Dr. Bernardus H. J. de Jong, Dr. Mario González Espinosa, Ph.D. Jorge E. Macías Sámano,
Dr. Neptalí Ramírez Marcial, Dr. Cristian Tovilla Hernández, Dr. Henricus Franciscus M. Vester

El Colegio de México.- Dra. María Perevochtchikova

El Colegio de Tlaxcala, A. C.- M.C. Noé Santacruz García

- Instituto de Ecología, A. C.-** Dr. Pedro Guillermo Ángeles Álvarez, Dr. Ismael Raúl López Moreno
- Instituto Politécnico Nacional.-** Dr. Alejandro Daniel Camacho Vera, Ph.D. José de Jesús Nívar Cháidez, M.C. D. Leonor Quiroz García
- PRONATURA.-** Dr. José A. Benjamín Ordoñez Díaz
- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.-** Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo, M.C. Salvador Valencia Manzo
- Universidad Autónoma Chapingo.-** Dr. Leonardo Sánchez Rojas, Dr. Enrique Serrano Gálvez, Dra. Ernestina Valadez Moctezuma, M.C. Beatriz Cecilia Aguilar Valdez, M.C. Baldemar Arteaga Martínez, M.C. Emma Estrada Martínez, M.C. Mario Fuentes Salinas, M.C. Enrique Guízar Nolasco, Dr. Hugo Ramírez Maldonado, Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo
- Universidad Autónoma de Baja California Sur.-** Dr. José Antonio Martínez de la Torre
- Universidad Autónoma de Chihuahua.-** Ph.D. Concepción Luján Álvarez, Ph.D. Jesús Miguel Olivas García
- Universidad Autónoma de Guadalajara.-** Dr. Mauricio Alcocer Ruthling
- Universidad Autónoma de Nuevo León .-** Dr. Glafiro J. Alanís Flores, Dr. Enrique Jurado Ybarra, Dr. José Guadalupe Marmolejo Monsiváis
- Universidad Autónoma de Querétaro.-** Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí.-** M.C. Carlos Arturo Aguirre Salado
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.-** Dra. Ana Laura López Escamilla, Dr. Ángel Moreno Fuentes
- Universidad Autónoma del Estado de México.-** Dr. Darío Ibarra Zavala
- Universidad Autónoma Indígena de México.-** Dra. Hilda Susana Azpiroz Rivero
- Universidad Autónoma Metropolitana.-** Dr. Héctor Castillo Juárez, Dra. Carmen de la Paz Pérez Olvera, Dr. Luis Ramón Bravo García, Dr. Ezequiel Delgado Fourné, M.C. Francisco Javier Fuentes Talavera,
- Universidad de Guadalajara.-** M.C. María Guadalupe Lomelí Ramírez, M.C. Roberto Novelo González, Dr. Rubén Sanjuán Dueñas
- Universidad del Mar.-** M.C. Verónica Ortega Baranda
- Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.-** Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro, Dr. Javier Leonardo Bretado Velázquez, Dr. Hermes Alejandro Castellanos Bocaz, Dr. José Javier Corral Rivas,
- Universidad Juárez del Estado de Durango.-** Ph.D. José Giro Hernández Díaz, Dr. Marín Pompa García, Dr. José Cruz de León, M.C. Marco Antonio Herrera Ferreyra, Dr. Alejandro Martínez Palacios,
- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.-** Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones, Dr. David Zavala Zavala
- Universidad Nacional Autónoma de México.-** Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders, Dr. Humberto Bravo Álvarez, Dra. Eliane Ceccón, Dr. Joaquín Cifuentes Blanco, Dr. Abisaf Josué García Mendoza, Dr. Roberto Garibay Orijel, Dr. Julio Alberto Lemos Espinal, Dr. Daniel Piñero Dalmau, Dr. Américo Saldívar Valdés, Dra. Teresa Terrazas Salgado
- Universidad Veracruzana.-** Dr. Carlos H. Ávila Bello, Dr. Lázaro Rafael Sánchez Velásquez
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.-** Dr. Miguel Acosta Mireles, Dr. Víctor Javier Arriola Padilla, Dr. Francisco Becerra Luna, Dr. Juan de Dios Benavides Solorio, Dr. Fernando Carrillo Anzures, Dr. Carlos Román Castillo Martínez, M.C. Alfonso de la Rosa Vázquez, Dr. José Germán Flores Garnica, M.C. Antonio González Hernández, Dr. Vidal Guerra de la Cruz, Dr. José Amador Honorato Salazar, Dr. Fabián Islas Gutiérrez, M.C. Juan Islas Gutiérrez, Dr. Emiliano Loeza Kuk, M.C. José Francisco López Toledo, Dr. Martín Martínez Salvador, Dra. Aixchel Maya Martínez, Dr. José Isidro Melchor Marroquín, M.C. Francisco Moreno Sánchez, Dr. Ramiro Pérez Miranda, Dr. José Ángel Prieto Ruíz, M.C. Fabiola Rojas García, Dr. Guillermo Sánchez Martínez, Dr. Erasto Domingo Sotelo Ruiz, Dr. Arturo Gerardo Valles Gándara, Dr. José Villanueva Díaz, M.C. Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez
- Consultores Privados.-** M.Sc. Rosalía A. Cuevas Rangel, Dra. Teresita del Niño Jesús Marín Hernández, Dr. Gustavo Cruz Bello.

CONSEJO EDITORIAL

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.-** Dr. Francisco Becerra Luna, M.C. Andrés Flores García, M.C. Georgel Moctezuma López, M.C. Francisco Moreno Sánchez, M.C. Santa Ana Ríos Ruíz, M.C. Juan Carlos Tamarit Urias,
- Universidad Nacional Autónoma de México.-** M.C. Verónica del Pilar Reyero Hernández

A partir del Volumen 2, Número 3, enero-febrero 2011, se deberá cubrir una cuota de \$350.00 (TRESCIENTOS CINCUENTA PESOS, 00/100 M.N.) por página completa publicada (traducción y gastos de edición).

El pago de suscripciones y publicación de artículos se realizará por medio de un depósito a nombre del INIFAP/CENID-COMEF, en la cuenta No. 0657617851, Clabe Interbancaria 072 180 00657617851 2, del Grupo Financiero BANORTE, Sucursal No. 2037. En el caso de suscripciones internacionales, la Clave SWIFTT correspondiente es: MENOMXMT. Se deberá enviar copia del depósito por fax o correo electrónico. Si el pago es con cheque, se requiere expedirlo a nombre del INIFAP/CENID-COMEF.

Precios de suscripción (incluye envío)			
Nacional:	\$	600.00	Institucional / Individual
Extranjero	\$	90.00 USD	Institucional / Individual

Toda correspondencia relacionada con la revista, favor de dirigirla a:

Editor en Jefe de la Revista Mexicana de Ciencias Forestales
Av. Progreso No. 5
Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán
C.P. 04010 México, D. F. México.
Correo-e: ciencia.forestal@inifap.gob.mx
Teléfono y Fax: (+52-55) 3626-8697
Conmutador: (+52-55) 3626-8700 ext. 112

Producción: Carlos Mallén Rivera
Cuidado de la Edición: Marisela C. Zamora Martínez
Diseño y formación: Silvia Onodera Hamano
Gestión, seguimiento y galeras: Margarita Muñoz Morgado,
Lourdes Velázquez Fragoso y Laura Gabriela Herrerías Mier
Impresión, encuadernación y terminado:
Graphx, S. A. de C. V.

El
Volumen
2,
Número 6 de
la *Revista Mexicana
de Ciencias Forestales*, se
terminó de imprimir en agosto
de 2011, "Año Internacional de
los Bosques", por Graphx, S. A.
de C. V., Tacuba 40-205, Col.
Centro Histórico, México, D.F.
06010 Tiraje: 1,000
ejemplares.

Revista Mexicana de Ciencias Forestales

Vol. 2 Núm. 6. 2011

PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LA CANDELILLA
PAST, PRESENT AND FUTURE OF CANDELILLA

GERMINACIÓN Y SUPERVIVENCIA DE DOS ESPECIES DE ACAHUAL DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA PARA RESTAURAR DUNAS COSTERAS
GERMINATION AND SURVIVAL OF TWO SPECIES OF ACAHUAL OF TROPICAL DRY FOREST TO RESTOR COASTAL DUNES

MICROPROPAGACIÓN DE *Turbincarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha CACTÁCEA ORNAMENTAL EN ESTATUS DE RIESGO DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE
MICROPROPAGATION OF *Turbincarpus knuthianus* (Boed.) John & Riha, ORNAMENTAL CACTUS OF THE CHIHUAHUAN DESERT, AT RISK STATUS

MODELOS VOLUMÉTRICOS FUSTALES PARA *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. EN PLANTACIONES AGROFORESTALES DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA
STEM TAPER MODELS FOR *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. IN AGROFORESTRY PLANTATIONS OF THE NORTHERN RANGE OF PUEBLA STATE

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BOSQUES DEL SUR DE NUEVO LEÓN
ASSESSMENT OF CARBON CONTENT IN SOUTHERN NUEVO LEON STATE FORESTS

IMPACTO DE *Phellinus pini* (Brot.) Bondartsev & Singer EN BOSQUES DE *Pinus greggii* Engelm. EN NUEVO LEÓN
IMPACT OF *Phellinus pini* (Brot.) Bondartsev & Singer IN *Pinus greggii* Engelm. FORESTS OF NUEVO LEON STATE

VALORACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN VERACRUZ (CASOS COATEPEC Y SAN ANDRÉS TUXTLA)
SOCIOECONOMIC ASSESSMENT OF HYDROLOGIC ENVIRONMENTAL SERVICES IN VERACRUZ (COATEPEC AND SAN ANDRÉS TUXTLA)

LAS UNIDADES DE MANEJO AMBIENTAL EN LA CONSERVACIÓN DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN DE COAHUILA
THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT UNITS IN THE CONSERVATION OF VEGETATION TYPES IN COAHUILA STATE