

CIENCIA FORESTAL en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 34 NÚM. 105 224 p. MÉXICO, D.F. ENE-JUN 2009

inifap

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

DIRECTOR DE LA REVISTA Y PRESIDENTE DEL COMITÉ EDITORIAL
Dr. Héctor M. Benavides Meza

SECRETARIO TÉCNICO
M.C. Carlos Mallén Rivera

COORDINADORA EDITORIAL
Dra. Cecilia Nieto de Pascual Pola

Ciencia Forestal en México es la revista semestral de difusión científica en el ámbito forestal y ambiental 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). La publicación tiene como objetivo difundir los resultados de la investigación que realizan los investigadores del INIFAP, así como de 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 que aparecen en ***Ciencia Forestal*** en México, no implican patrocinio o recomendación a las empresas referidas, ni crítica a otros productos, herramientas o instrumentos similares.

Ciencia Forestal en México 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 Latina y El Caribe, España y Portugal (LATINDEX); en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias (PERIÓDICA) y en el Catálogo Hemerográfico de Revistas Latinoamericanas (HELA), en la Sección de Ciencias Exactas y Naturales.

Ciencia Forestal en México, revista semestral, enero-junio 2009. Editor Responsable Héctor Mario Benavides Meza. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2007-101614253300-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13912. Número de Licitud de Contenido: 11485. Domicilio de la Publicación: Av. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, C. P. 04010, México, D. F. Imprenta: Graphx, S. A. de C. V. Tacuba No. 40-205, Col. Centro, Delegación Cuauhtémoc, C. P. 06010, México, D. F. Distribuidor: INIFAP, Av. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, C. P. 04010, México, D. F.

ISSN 1405-3586.

CONTENIDO	Pág.
CONSEJO CONSULTIVO Y CONSEJO EDITORIAL	3
CONSEJO ARBITRAL	5
EDITORIAL	11
IDENTIFICACIÓN DEL AGENTE PATÓGENO DEL CANCRO DEL EUCALIPTO EN PLANTACIONES DEL SURESTE DE MÉXICO Irma Bernal Lugo, Carlos Juárez Palacios J., Rocío Santos Gally, Luis Vázquez Silva, Hilda Araceli Zavaleta Mancera, Hilda Susana Azpiroz Rivero, Conrado Parraguirre Lezama y María del Pilar de la Garza López de Lara	17
RECONSTRUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIONAL PARA EL BARLOVENTO DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL CON ANILLOS DE CRECIMIENTO DE <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco José Villanueva Díaz, Peter Z. Fulé, Julián Cerano Paredes, Juan Estrada Ávalos e Ignacio Sánchez Cohen	37
RIQUEZA DE MACROMICETOS DEL PARQUE NACIONAL BARRANCA DEL CUPATITZIO, MICHOACÁN, MÉXICO Gilberto Chávez-León, Víctor Manuel Gómez-Reyes y Marlene Gómez-Peralta	71
EVALUACIÓN DE TERRAZAS DE BANCO PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES Oscar Raúl Mancilla Villa, José Luis Oropeza Mota y Mario Martínez Menes	97
FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO Y VOLUMEN COMPATIBLE PARA <i>Pinus arizonica</i> Engelm. EN EL SUROESTE DE CHIHUAHUA Marín Pompa García, José Javier Corral Rivas, Manuel Antonio Díaz Vásquez y Martín Martínez Salvador	117
ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LA COBERTURA VEGETAL-USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA José Mauricio Galeana Pizaña, Nirani Corona Romero y José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz	135
TABLAS DE PRODUCCIÓN PARA EL INVENTARIO DE CORTADILLO (<i>Nolina cespitifera</i> Trel.) EN EL SURESTE DE COAHUILA David Castillo Quiroz, J. Trinidad Sáenz Reyes, Luis Mario Torres Espinosa y David Sánchez Aspeytia	157
ESTUDIO CARIOLÓGICO DE <i>Quercus laurina</i> Humb. & Bonpl. Carlos Rafael Hernández-Vital, José Guadalupe Álvarez-Moctezuma, Fernando Zavala-Chávez† y Policarpo Espinosa-Robles	173
MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO PARA <i>Pinus durangensis</i> Martínez EN SAN DIMAS, DURANGO Juan Antonio López Hernández y Arturo Gerardo Valles Gándara	185

EFFECTO DE <i>Tillandsia recurvata</i> L. (Bromeliaceae) SOBRE EL ÉXITO REPRODUCTIVO DE <i>Fouquieria splendens</i> Engelm. (Fouquieriaceae) Iván Castellanos-Vargas, Zenón Cano-Santana y Berta Hernández-López	197
HOMENAJE A LA DRA. MARÍA VALDÉS RAMÍREZ	209
RESEÑA DE PUBLICACIONES FORESTALES ELABORADAS POR INVESTIGADORES DEL INIFAP	213
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA <i>CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO</i>	219
FE DE ERRATAS	223

CONSEJO CONSULTIVO

Dr. Salvador Fernández Rivera

Coordinación de Investigación, Innovación y Vinculación / INIFAP.

Dr. Robert Bye Boetler

Jardín Botánico, Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México.

Dr. Celedonio Aguirre Bravo

Forest Service, United States
Department of Agriculture.

Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón

Facultad de Ciencias Forestales,
Universidad Autónoma de Nuevo León.

Dr. Adrián Fernández Bremauntz

Instituto Nacional de Ecología,
SEMARNAT.

Dr. Miguel Caballero Deloya

Colegio de Postgraduados.

Dra. Amparo Borja de la Rosa

División de Ciencias Forestales,
Universidad Autónoma Chapingo.

Dr. Alejandro Velázquez Martínez

Especialidad Forestal,
Colegio de Postgraduados.

Dra. Patricia Koleff Osorio

Comisión Nacional para el
Conocimiento y Uso de la
Biodiversidad.

Dr. Octavio S. Magaña Torres

Campo Experimental Valle de México,
C.I.R. Centro / INIFAP.

Dra. María Valdés Ramírez

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas,
Instituto Politécnico Nacional.

M. C. Vicente Arriaga Martínez

Comisión Nacional Forestal,
SEMARNAT.

CONSEJO EDITORIAL

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Ing. Francisco Camacho Morfín

M.C. Georgel Moctezuma López

M.C. Santa Ana Ríos Ruíz

M.C. Juan Carlos Tamarit Urias

M.C. Efraín Velasco Bautista

Biól. Marisela C. Zamora Martínez

Universidad Nacional Autónoma de México

M.C. Verónica del Pilar Reyero Hernández

CONSEJO ARBITRAL

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

España

CIFOR/Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias
Dr. Gregorio Montero González
Dr. Sven Mutke Regneri

Fundación CEAM
Dra. María José Sáenz Sánchez

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

Texas A&M University
Dr. Raúl I. Cabrera

University of California
Ph.D. Richard Y. Evans

University of Colorado at Denver
Ph.D. Rafael Moreno Sánchez

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

México

Centro de Investigación y Docencia Económicas
Dr. Juan Manuel Torres Rojo

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

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. Ronald Ferrara-Cerrato
Dr. Edmundo García Moya
Dr. Jesús Jasso Mata
Dr. Lauro López Mata
Dr. Javier López Upton
Dr. Martín A. 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 Lindermann

Colegio de Tlaxcala, A. C.
M.C. Noé Santacruz García

Instituto de Ecología, A. C.
Dr. Guillermo Ángeles Álvarez
Dr. Ismael Raúl López Moreno
Instituto Politécnico Nacional
Dr. Alejandro Daniel Camacho Vera
Dr. José de Jesús Návar Cháidez

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo
M.C. Salvador Valencia Manzo

Universidad Autónoma Chapingo
M.C. Baldemar Arteaga Martínez
M.C. Emma Estrada Martínez
M.C. Mario Fuentes Salinas
M.C. Enrique Guízar Nolazco
Dr. Hugo Ramírez Maldonado
Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo
Dr. Leonardo Sánchez Rojas
Dr. Enrique Serrano Gálvez
Dra. Ernestina Valadez Moctezuma
Dr. José A. Gil Vera Castillo

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. J. B. Mauricio Alcocer Ruthling

Universidad Autónoma de Nuevo León
M.C. Glafiro Alanís Flores
Dr. Enrique Jurado Ybarra
Dr. José Guadalupe Marmolejo Moncivais

Universidad Autónoma de Querétaro
Dr. Luis Hernández Sandoval

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Dra. Ana Laura López Escamilla
M.C. Ángel Moreno Fuentes

Universidad Autónoma Indígena de México
Dra. Hilda Susana Azpiroz Rivero

Universidad Autónoma Metropolitana
Dr. Héctor Castillo Juárez
Dra. Carmen de la Paz Pérez Olvera
Universidad de Guadalajara
Dr. Luis Ramón Bravo García
Dr. Ezequiel Delgado Fourné
M.C. Francisco J. Fuentes Talavera
M.C. María Guadalupe Lomelí Ramírez
Dr. Rubén Sanjuán Dueñas

Universidad de Guanajuato
Dr. Alejandro José López-Feldman

Universidad del Mar
M.C. Verónica Ortega Baranda

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro

Universidad Juárez del Estado de Durango
Ph.D. José Ciro Hernández Díaz

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Dr. José Cruz de León
M.C. Marco Antonio Herrera Ferreyra
M.C. Xavier Madrigal Sánchez
Dr. Alejandro Martínez Palacios
Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones
Dr. David Zavala Zavala

Universidad Nacional Autónoma de México
Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders
Dr. Humberto Bravo Álvarez

Dr. Joaquín Cifuentes Blanco
Dra. Ma. Hilda Flores Olvera
Dr. Abisai Josué García Mendoza
Dr. Julio Alberto Lemos Espinal
Dr. Daniel Piñero Dalmau
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. Francisco Becerra Luna
Dr. Juan de Dios Benavides Solorio
Dr. Fernando Carrillo Anzures
Dr. Carlos Roman Castillo Martínez
Dr. Gustavo Cruz Bello
M.C. Alfonso de la Rosa Vázquez
Dr. José Germán Flores Garnica
Dr. Vidal Guerra de la Cruz
Dr. José Amador Honorato Salazar
Dr. Fabián Islas Gutiérrez
M.C. Juan Islas Gutiérrez
M.C. Miguel Martínez Domínguez
Dr. Martín Martínez Salvador
Dr. José Isidro Melchor Marroquín
M.C. Francisco Moreno Sánchez
Dr. José A. Benjamín Ordoñez Díaz
Dr. José Ángel Prieto Ruíz
Dr. Guillermo Sánchez Martínez
Dr. Arturo G. Valles Gándara
Dr. José Villanueva Díaz

Consultores Privados
M.Sc. Rosalía A. Cuevas Rangel
Dra. Teresita del Niño Jesús Marín Hernández

EDITORIAL

Nuevamente hacemos llegar al sector forestal y ambiental del país y del extranjero, el número 105 de la Revista *Ciencia Forestal en México*, conformado por 10 contribuciones provenientes de diversos centros del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y de otras instituciones, como las Facultades de Ciencias y de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Chapingo, el Colegio de Postgraduados, la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango y del Centro de Investigación en Geografía y Geomática del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lo anterior es un indicador de la aceptación y reconocimiento que ha alcanzado esta publicación por investigadores y académicos, lo cual nos compromete a seguir realizando nuestro trabajo editorial con esmero y dedicación.

El primer trabajo que se presenta se llevó a cabo en forma conjunta por personal investigador del INIFAP, de la Facultad de Química de la UNAM y del Programa de Botánica del Colegio de Postgraduados. Esta contribución se relaciona con el estudio de un agente patógeno que afecta en forma considerable a las plantaciones comerciales de diversas especies de eucalipto en el sureste mexicano. Para ello, se tomaron muestras de corteza, ramas, tallos y rebrotes infectados de algunas plantaciones experimentales, ubicadas en los estados de Chiapas y Oaxaca, las cuales se sometieron a condiciones de temperatura y humedad apropiadas para el desarrollo de dicho agente. Los autores de este artículo describen que las estructuras reproductoras de las colonias miceliares fueron similares a las de *Chrysosporthe cubensis*, aunque encontraron dos tipos de estructuras, tanto en las muestras de campo como en las de laboratorio, que al ser estudiadas mediante análisis molecular, se pudo detectar una similitud mayor de 97%, lo que sugiere que se trata de un solo agente patógeno cuya identidad correspondió a *Ch. cubensis*. Esta característica puede conferir al hongo una mayor agresividad y por lo mismo, es urgente que se continúen los trabajos de investigación en esta área, ya que las plantaciones comerciales que existen y se establezcan en el futuro, pueden verse impactadas por este organismo.

La temática de la siguiente aportación es sobre la reconstrucción de la precipitación estacional en el barlovento de la Sierra Madre Occidental y para lo

cual se utilizaron anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii*. En esta región están asentadas zonas de gran valor agrícola que tienen una fuerte dependencia del agua de escurrimiento y de los acuíferos que se recargan en las cuencas hidrológicas de dicha sierra, de las cuales son escasos los estudios que permitan determinar la variabilidad hidroclimática a través del tiempo. Las reconstrucciones cronológicas indican episodios secos que ocurrieron en las décadas de 1560, 1700 y 1770 y tuvieron una intensidad y duración igual o superior a las sequías registradas en el siglo XX. Las más severas y prolongadas fueron reportadas en archivos históricos por producir hambrunas y epidemias generalizadas, lo cual pone de manifiesto la necesaria elaboración de cronologías adicionales para conocer la variabilidad hidroclimática, especialmente la de verano en esta zona de gran importancia agrícola en las partes bajas de las cuencas.

El artículo que continúa aborda el tema de los recursos forestales no maderables, en este caso los macromicetos que crecen en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, donde se actualizó la información relacionada con la presencia, distribución y situación de riesgo de estos hongos. Del total de 83 taxa identificados, 52 fueron ectomicorrizógenos, 37 comestibles, 22 tóxicos y dos en la categoría de riesgo, consideradas como amenazadas. Este trabajo permitió identificar 19 macromicetos prioritarios para su conservación en el parque y seguramente los encargados del mismo darán seguimiento a los resultados derivados de este proyecto de investigación pues cuentan con información valiosa para el desarrollo de sus actividades.

La siguiente contribución versa acerca de la evaluación de terrazas de banco para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en el Estado de México. Los bancales se definieron con base en criterios sustentados en la precipitación, pendiente dominante en el terreno, textura del suelo y requerimientos del silvicultor. La eficiencia técnica de las terrazas se evaluó por medio de la medición de la infiltración, escurrimiento superficial y sedimentos acumulados; así como la erosión del suelo, que se estimó mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. Los autores refieren que las terrazas mostraron una eficiencia de 99.09% para mitigar la erosión, 43.6% para aumentar la infiltración, 74% para reducir el escurrimiento superficial y 46.6% la de sedimentos; mientras que la factibilidad financiera reportó una relación beneficio-costos de 2.37, un valor actual neto de \$7'800,318.77 y una tasa interna de retorno de 129%. Los resultados de esta

investigación indican que para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en esta región central del país, la construcción y operación de sistemas de terrazas de banco son una opción eficiente desde el punto de vista técnico, y factible desde el financiero, lo que seguramente las ofrece como una opción de interés para los prestadores de servicios técnicos que laboran en dicha zona y orientará los trabajos que en materia de reforestación lleven a cabo.

A continuación se presenta una contribución relativa a *Pinus arizonica*, que es una de las especies de mayor uso y distribución en el suroeste del estado de Chihuahua, pues cubre 80% de la superficie forestal en dicha entidad y genera aproximadamente 160,000 m³ de madera al año. No obstante lo anterior, es escaso el conocimiento preciso de las estimaciones del volumen comercial derivado de esta especie, por lo que un grupo de investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango y del INIFAP, se plantearon como objetivo determinar el ahusamiento del tronco y diseñar una ecuación compatible que garantice su aplicación operativa. Los autores de este trabajo probaron seis modelos de los cuales el de Biging resultó ser el de mejor capacidad de predicción, ya que mediante su integración matemática, se obtuvo una expresión de ahusamiento compatible con volúmenes comerciales y totales del arbolado en pie. La información generada por medio de esta investigación será de gran utilidad para los prestadores de servicios técnicos en el suroeste de Chihuahua y dará mayor certidumbre a las estimaciones de volumen y, por ende, a los programas de manejo.

El Distrito Federal es nuevamente ubicado como área de estudio y, en este caso, se abordó el bosque periurbano en la cañada de la Magdalena Contreras, al sur de la entidad, en donde un grupo de investigadores de la UNAM, INIFAP y Centro Geo, hicieron un análisis de la dimensión espacial por tipo de cobertura vegetal y uso del suelo; mediante el cruce de información geográfica se diseñó una matriz de las variables ambientales, se precisaron los componentes principales, así como la superficie y ubicación de cada una de las coberturas vegetales en función de la temperatura, precipitación, altitud, edafología y orientación respecto al sol. Los autores identificaron una dominancia de *Abies religiosa* en 40% de la superficie del lugar, seguida por *Pinus hartwegii* con 20%. Las siguientes categorías correspondieron a bosques mixtos de estas especies y al bosque de *Quercus*, que cubre solamente 2% del área. Indudablemente este trabajo aporta un

conocimiento más preciso de las características de la parte alta de la Cuenca del Río Magdalena, fundamental para la Ciudad de México por los servicios ambientales que ahí se producen, la cual debe ser conservada y protegida en las mejores condiciones posibles.

Los recursos forestales no maderables son de gran importancia para el desarrollo económico del país y de las comunidades que los aprovechan, por tal razón, se publican trabajos con regularidad en la revista *Ciencia Forestal en México* sobre esta materia. Ejemplo de lo anterior es el artículo que se relaciona con la elaboración de tablas de producción de *Nolina cespitifera* (cortadillo), utilizado para fabricar escobas y se distribuye en las zonas áridas y semiáridas del sur de Coahuila y Nuevo León, así como del norte de Zacatecas. Los investigadores del INIFAP que realizaron esta contribución tuvieron como objetivo definir tablas más precisas de acuerdo a los tipos de vegetación en los que se desarrolla esta especie en el sureste de Coahuila. Los resultados revelan que es necesario hacer ajustes al modelo que predice la producción y por ende las tablas de cada comunidad vegetal. Es de esperar que cuando los prestadores de servicios técnicos consulten esta información, lleven a cabo las adecuaciones pertinentes para optimizar el aprovechamiento del recurso, trascendente para los dueños o poseedores de las áreas forestales en donde se distribuye el cortadillo.

El último de los artículos científicos que se publica se refiere al estudio cariológico de *Quercus laurina*, tema que ha sido poco estudiado en México, pues la información del género *Quercus* en este sentido está basada en especies de Europa y Estados Unidos de América, de las cuales se reporta un número básico cromosómico de 12 y un número cromosómico somático de 24. Con base en lo anterior, los autores, provenientes de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, definieron como objetivo el análisis cariológico de *Q. laurina*, con el fin de aplicar este conocimiento en estudios taxonómicos.

Dos notas técnicas cierran el número 105: la primera de ellas describe la generación de un modelo para la estimación de un índice de sitio, mientras que la segunda abordó el efecto de las plantas epífitas sobre el éxito reproductivo de *Fouquieria splendens*.

El índice de sitio es el método más utilizado en México para estimar la productividad de los terrenos forestales, ya que es una expresión matemática fácil de entender y es independiente de la densidad, por lo cual es importante ajustar un grupo de modelos para predecirlo, en este caso por medio de una remediación de sitios permanentes establecidos en un bosque natural de *Pinus durangensis* en el Ejido Vencedores de San Dimas, Durango. Los autores, investigadores del INIFAP en el Campo Experimental Valle del Guadiana, probaron 13 modelos matemáticos ajustados con el procedimiento de mínimos cuadrados y se encontró que el que mejor estima el índice fue un modelo logarítmico. Sin duda, la aportación de esta nota técnica será de gran utilidad para los prestadores de servicios técnicos de esta región de Durango, ya que permitirá fundamentar con mayor precisión los programas de manejo que elaboren.

Algunas plantas epífitas son parásitas de espacio y en el caso de *Tillandsia recurvata*, puede influir en el éxito reproductivo de la planta que la sostiene (*Fouquieria splendens*). El estudio incluyó 66 individuos de esta especie, en un matorral micrófilo-espinoso de Peña Blanca, Querétaro. Los resultados indican que el nivel de infestación de *T. recurvata* sobre *F. splendens* estuvo directamente correlacionado con el potencial reproductivo por unidad de área de cobertura del forofito, es decir, que cuando existen altos niveles de infestación se incrementa la producción de flores para asegurar que el número de semillas se mantenga en la misma proporción que habría, si no estuviera infestada. Este trabajo es una clara muestra de la necesaria generación de conocimientos básicos sobre las características de las especies y ecosistemas forestales, con el fin de sustentar las decisiones que para su manejo, deben hacer los encargados de su aprovechamiento, protección o conservación.

Como se inició en el número anterior, se presentan reseñas de algunas publicaciones forestales elaboradas por investigadores forestales del INIFAP, procedentes de diferentes Centros Regionales. Invitamos a los investigadores y académicos de otras instituciones, a que nos hagan llegar los nuevos títulos que produzcan para darlos a conocer por este medio. El ejemplar que nos envíen será depositado en la Biblioteca Nacional Forestal "Ing. Roberto Villaseñor Ángeles" para su consulta y asimismo, a nuestros lectores, para que en caso de que estén interesados en adquirir alguna de estas obras, hagan contacto

con el campo experimental que las produjo, o se comuniquen a las oficinas de este Comité Editorial, en donde podremos orientarlos.

Tenemos el agrado de incorporar una semblanza de la Dra. María Valdés Ramírez, por haber sido acreedora al Premio Nacional de Ciencias y Artes 2008, lo que nos enorgullece ya que es una destacada investigadora que forma parte del Consejo Consultivo de la Revista *Ciencia Forestal en México*, en el que ha participado de forma desinteresada aportando su sapiencia y orientación para un mejor desarrollo de las actividades que llevamos a cabo.

Es importante reconocer las fallas que ocasionalmente se tienen en el quehacer editorial, motivo por el cual se agrega una fe de erratas por la omisión del Cuadro 4, en el artículo “Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche”, publicado en el No. 104 de esta revista a mi cargo. Damos una disculpa a sus autores y a los lectores por la inconveniencia que esto pudo haber causado.

Finalmente, reitero mi agradecimiento a los árbitros y editores del Comité Editorial de la Revista *Ciencia Forestal en México*, pues su desinteresada colaboración permite la publicación de esta revista y de igual manera, agradezco a los investigadores y académicos que confían en ella para hacer llegar sus resultados a la comunidad forestal de México y de otros países con problemas similares.

Dr. Héctor M. Benavides Meza
Presidente del Comité Editorial y Director de la Revista
Ciencia Forestal en México

IDENTIFICACIÓN DEL AGENTE PATÓGENO DEL CANCRO DEL EUCALIPTO EN PLANTACIONES DEL SURESTE DE MÉXICO

Irma Bernal Lugo¹, Carlos Juárez Palacios J.², Rocío Santos Gally¹,
Luis Vázquez Silva², Hilda Araceli Zavaleta Mancera³,
Hilda Susana Azpiroz Rivero², Conrado Parraguirre Lezama²
y María del Pilar de la Garza López de Lara²

RESUMEN

En las plantaciones comerciales de diversas especies de eucalipto que se desarrollan en el sureste mexicano, tanto los científicos como los propietarios han informado sobre ataque del cancro en 70% de los árboles. El objetivo de este estudio fue identificar la especie de su agente causal. Se tomaron muestras de corteza, ramas, tallos y rebrotes infectados de diferentes procedencias de plantaciones experimentales, ubicadas en los estados de Chiapas y Oaxaca. Las muestras se sometieron a temperatura y humedad apropiadas para el desarrollo de esporomas. El agente patógeno se aisló y se purificó mediante cultivos *in vitro* iniciados del micelio desarrollado por el cancro. El aspecto, color, tamaño y características de la mayoría de las estructuras reproductoras de las colonias miceliales, fueron similares a las de *Chrysosporthe cubensis*. Sin embargo, se encontraron dos tipos de estructuras reproductoras diferentes, tanto en las muestras de campo como en las de laboratorio, por lo que fue necesario verificar si las dos morfías pertenecían a una sola especie de *Chrysosporthe*, lo cual se realizó mediante un análisis molecular. La comparación de las secuencias de nucleótidos de la región intergénica de los genes ribosomales de estas estructuras sugiere una similitud mayor de 97%, y al compararlas con los genes correspondientes reportados en el banco de genes del NCBI, indicaron que se trata de un solo agente patógeno, cuya identidad correspondió a *Ch. cubensis*. En esta región, el hongo presentó dismorfia, característica que puede conferir al hongo una mayor agresividad.

Palabras clave: Agente patógeno, cancro del eucalipto, *Chrysosporthe cubensis*, morfías, nucleótidos, secuencias ribosomales ITS.

Fecha de recepción: 31 de enero de 2008.

Fecha de aceptación: 13 de abril de 2009.

¹ Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: irmofel@servidor.unam.mx

² Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP.

³ Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados.

ABSTRACT

In the Southeast of Mexico, there are marketable plantations of different species of *Eucalyptus* where canker has been reported. The objective of this study was to provide the morphological and molecular identification of the species of eucalyptus canker causal agent in these plantations. Samples of infected bark, branches and new shoots were obtained from different parental sources growing in Oaxaca and Chiapas. The samples were incubated under the right temperature and humidity for the development of reproductive bodies. The pathogen agent was isolated and purified from *in vitro* cultures of mycelium colonies developed in the canker. The aspect, color, size and morphological characteristics of the reproductive structures were similar to those of *Chrysosporthe cubensis*. Nevertheless two types of reproductive structures were found in the field and laboratory samples, and it was necessary to verify if both belonged one kind of morphia. To precisely define to which species belonged the morphia, it was carried out a molecular analysis of the reproductive structures. The comparison of nucleotide sequences in the intergenic region of ribosomal genes of these structures, showed a similarity over 97% and when compared to the correspondent genes reported in the gene bank NCBI, pointed out that is only one pathogenic agent whose identity is *Ch. cubensis*. This pathogen presents dimorphism in this region, such characteristic could make the fungus more aggressive.

Key words: Pathogenic agent, eucalyptus canker, *Chrysosporthe cubensis*, morfism, nucleotides, ITS ribosomal sequences.

INTRODUCCIÓN

El género *Eucalyptus* es originario de Australia y pertenece a la familia de las Mirtáceas, que comprenden una enorme diversidad biológica, con más de 700 especies distribuidas en regiones, esencialmente de climas mediterráneos, tropicales y subtropicales (Obregón y Restrepo, 2000).

Se estima que fue en el siglo XVIII cuando se inició la propagación de eucaliptos en diferentes latitudes del mundo, llegando a distribuirse con éxito en varios países de Europa, Asia, África, América y en algunas islas del pacífico (Obregón y Restrepo, 2000). En la actualidad, es cultivado a nivel mundial como una fuente de fibra para producir pulpa de celulosa.

El cancro del eucalipto causado por el hongo *Chrysosporthe* spp. es una de las enfermedades más importantes en plantaciones establecidas en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. La infección puede dañar hasta 50% de las

plantas de especies susceptibles como *Eucalyptus saligna* Sm. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid. Los tallos al ser infectados por el hongo y formarse un cancro se debilitan y pueden romperse, por mecanismos físicos naturales (Ferreira, 1989; Krugner y Auer, 1997).

En el pasado, el agente patogénico de esta enfermedad fue clasificado de acuerdo a los síntomas asociados al cancro y a sus características morfológicas. Así, Boerboom y Maas (1970) determinaron en Surinam que *Endothia havanensis* Bruner era el causante de esta enfermedad en *Eucalyptus grandis* y *E. saligna*. Más tarde se demostró que *E. havanensis* era una especie saprofitica y que el organismo responsable de la enfermedad era *Diaporthe cubensis* Bruner, un hongo muy similar a *E. havanensis* en su aspecto (Hodges *et al.*, 1976). Posteriormente, Hodges *et al.* (1979) identificaron a la misma especie en Florida, Hawaii y Puerto Rico, por lo que el primer autor realizó un estudio taxonómico (Hodges, 1980) que lo llevó a concluir que *D. cubensis* y *Cryphonectria cubensis* (Bruner) Hodges eran una misma especie. Gibson (1981) en África, estudió esta enfermedad, mientras que Ferreira *et al.* (1977) detectaron el cancro de *Cryphonectria* en plantaciones de eucalipto en Brasil, al igual que Old y Davidson (2002) en Australia.

En estudios recientes, a través de un análisis de filogenia molecular, se encontró que los aislados del hongo, obtenidos de diversas regiones del mundo, formaban un grupo diferente de las otras especies de *Cryphonectria cubensis*, por lo que se describió el género *Chrysosporthe* para su clasificación correcta (Gryzenhout *et al.*, 2004). Utilizando este enfoque se han determinado cuatro especies del mismo género como agentes causales de dicha infección: *Ch. cubensis* (Bruner) Gryzenh. & M. J. Wingf constituye el patógeno del cancro de las plantaciones comerciales de *Eucalyptus* spp., en Sudamérica, Sudeste de Asia, Australia y África Central (Gryzenhout *et al.*, 2004). Esta especie, según diversos investigadores, también es capaz de afectar a *Syzygium aromaticum* L. o clavo (Hodges *et al.*, 1986; Myburg *et al.*, 2003) y *Miconia* spp. (Rodas *et al.*, 2005), aunque con menor severidad; *Ch. austroafricana* Gryzenhout & M. J. Wingf. (Gryzenhout *et al.*, 2004) produce el cancro de *Eucalyptus* spp. (Wingfield *et al.*, 1989) de *Tibouchina* spp. Aubl. (Myburg *et al.*, 2002) y de *Syzygium aromaticum* (Heath *et al.*, 2006) en Sudáfrica; *Ch. doradensis* Gryzenh. & M. J. es el patógeno del eucalipto en Ecuador (Gryzenhout *et al.*, 2005) y *Ch. inopina* Gryzenh. & M. J. Wingf. reconocido recientemente en Cuba (Gryzenhout *et al.*, 2006).

Debido a esta diversidad de agentes causales, los síntomas del cancro del *Chrysosporthe* en el mundo son diferentes. Los cancras en Sudamérica y en el Sudeste de Asia son distintos en función de las alturas de los tallos, mientras que en Sudáfrica sólo se forman en la base de los árboles (Conradie *et al.*, 1990).

Otra particularidad de la enfermedad en Sudáfrica es el hecho de que en los canchros sólo se detectan estructuras reproductivas asexuales, lo que las distingue de los canchros de Sudamérica y del Sudeste de Asia, en las cuales son de tipo sexual (Van Hereden y Wingfield, 2001). Estos contrastes pueden ser producto de la interacción de diversos factores incluyendo la virulencia, la resistencia del huésped, la influencia del ambiente y el tiempo de infección.

En México se iniciaron las plantaciones forestales comerciales en la década de 1950, cuando se plantaron alrededor de 6,400 ha de eucaliptos con la finalidad de contar con materia prima para fabricar tableros de fibra en el estado de San Luis Potosí. Actualmente en México existen 20,890 ha con este uso de suelo con especies introducidas y 18,640 ha con especies nativas (SEMARNAT, 2001). Los eucaliptos que han presentado mejor crecimiento en el país son: *Eucalyptus urophylla* ST Blake, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Eucalyptus saligna* Smith; la mayor parte es destinada a leña, carbón vegetal, madera de aserradero, postes para comunicaciones y construcción, suelos de parquet y pasta de celulosa (Ceccon y Martínez, 1999).

En el sureste mexicano donde se desarrollan plantaciones comerciales de diversas especies de eucalipto, se ha detectado el llamado "cáncer" o "cancro" del eucalipto y puede ocasionar pérdidas de hasta 40% en el rendimiento (m^3/ha) (Venter *et al.*, 2001). Los genotipos de estas plantaciones son principalmente *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* de diferentes procedencias en donde el cancro del eucalipto está presente. Por lo anterior, en las plantaciones mencionadas existe la incertidumbre del género y especie del agente causal, en virtud de que las diversas especies del hongo varían en sus mecanismos de reproducción y virulencia (Gryzenhout *et al.*, 2004).

El desarrollo de una estrategia eficiente para el control de esta amenazante enfermedad en dichas poblaciones forestales requiere de estudios que permitan determinar con certeza la(s) especie(s) del agente causante. El estudio que se presenta a continuación tuvo como objetivos: describir los síntomas que caracterizan esta fitopatología; identificar la morfología tanto macro como microscópicamente, así como la estructura molecular de la especie que causa la enfermedad cancro del eucalipto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras

Las muestras de troncos, retoños y ramas de árboles de eucalipto que portaban canchros naturales se colectaron en los estados de Chiapas y Oaxaca. En Chiapas,

los sitios se localizan en el “Rancho San Antonio” del municipio de Palenque y “Aguascalientes” del municipio Salto de Agua. Ambos, ubicados a nivel del mar, con las coordenadas: 17°45' N y 91°55' O” y 17°28' N y 92°14' O”, respectivamente. En Oaxaca, en el predio “La Gasolinera” localizado en el municipio de Cotzocon con coordenadas 17°20' N y 95°232' O”, a una altura de 177 msnm (Figura 1).

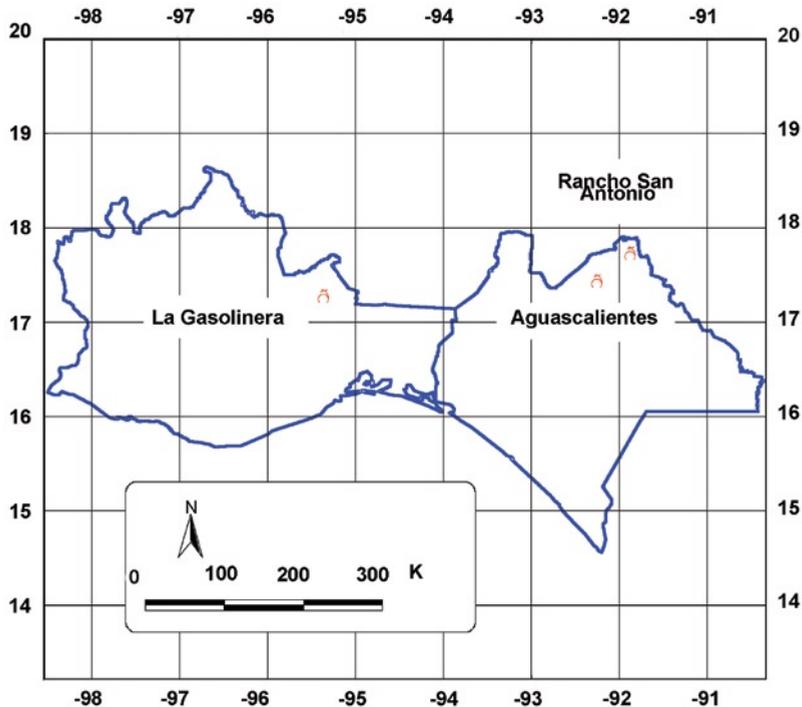


Figura 1. Localización de los sitios de colecta de material fitopatológico, Rancho San Antonio y Aguascalientes en Chiapas; La Gasolinera en Oaxaca.

Cada sitio cuenta con las siguientes fuentes parentales o procedencias: G-386 de Cali Colombia; G-2464 de WaterVal, Sudáfrica; G-5091 localidad desconocida en Sudáfrica y G-M5246 de Waterhoutboom, Sudáfrica. Éstas pertenecen a la especie de *Eucalyptus grandis*, además de U- Egon y U- Pantar procedentes de Indonesia, que corresponden a la especie *E. urophylla*. En cada sitio y de cada fuente parental, mediante martillo y formón, se colectaron porciones de corteza de tallos con cancro. Para la recolección de varas y retoños de árboles infectados se utilizaron tijeras de podar y una lupa 4X de bolsillo.

El material procedente de los árboles se depositó inmediatamente después de la extracción, en bolsas de plástico con cierre hermético de 27 x 28 cm, que se etiquetaron con los siguientes datos: procedencia, sitio, árbol, repetición y fecha, así como otras observaciones generales de las condiciones edáficas y ambientales. Posteriormente, se acomodó en una hielera, a la cual se le agregaron cubos de hielo para evitar una posible contaminación durante su traslado al laboratorio del Campo Experimental San Martinito perteneciente al Centro de Investigación Regional Golfo Centro, INIFAP.

Manejo de muestras

Las muestras se refrigeraron a una temperatura entre 4 y 5°C hasta su utilización. De una muestra representativa de cada sitio y árbol con síntomas de infección, se tomó un trozo de corteza o rebrote de aproximadamente 1.5 x 2.0 cm; se le lavó con jabón y agua corriente y se le limpió con cuidado con una brocha de cerdas naturales para quitar el excedente de tierra e impurezas.

Estos trozos se sometieron a desinfección en hipoclorito de sodio al 2.0% por 2 min, después se enjuagaron con agua destilada por un período igual al anterior y al final se secaron con papel filtro, para eliminar el excedente de agua, y se colocaron en cajas Petri con papel filtro humedecido con agua destilada para formar una cámara húmeda. Las muestras se dejaron en reposo a una temperatura ambiente entre 19 y 23°C. Todo el proceso anterior se llevó a cabo en estrictas condiciones de asepsia.

Aislamiento y purificación del hongo

Después de ocho días de incubación en cámara húmeda, los trozos de corteza comenzaron a emitir micelio y cuerpos fructíferos del hongo, de los cuales se transfirieron cuatro pequeñas porciones a cajas Petri con malta agar al 2% (MA). Éstas fueron incubadas en estufa de germinación a temperaturas de 27 a 30°C. Durante su crecimiento, se hicieron observaciones macroscópicas. Además, cada 24 h se realizaron mediciones de tamaño, se detectaron los cambios en el color y aspecto de las colonias y se observó la formación de estructuras reproductivas. Cuando se presentó el crecimiento miceliar de las muestras sembradas, se hicieron transferencias de hifa de cada colonia del hongo en desarrollo a una nueva caja Petri con medio MA y nuevamente se incubaron a la temperatura antes mencionada. De esta manera se garantizó que las colonias micológicas fueran puras (Cibrián *et al.*, 1999).

Preparaciones para la observación de estructuras

Las preparaciones para la observación *in situ* de estructuras fructíferas del hongo (picnidios y peritecios) se realizaron en forma manual (con navaja de afeitar) del tejido de corteza con cancro natural y con el microtomo de deslizamiento marca Microm HM 340E de un rango máximo de corte de 0.5-100 μ X un rango máximo de alimentación horizontal de 28 mm. Los cortes de 30-50 μ fueron colocados en portaobjetos con lactofenol para su revisión por medio de microscopio compuesto marca Olympus, modelo CX-31 con aumentos de 40X y 100X. En estas preparaciones también se detectaron ascas y ascosporas. De las colonias fúngicas purificadas, se obtuvieron muestras de micelio y cuerpos fructíferos (conidióforos y conidios) y otras características específicas del hongo.

Extracción del ADN

En un tubo de centrifuga se depositó una fracción del micelio con esporas al que se le adicionaron 10 mL de Tween 20 al 0.5 % (v/v), y se homogeneizó con politrón durante dos minutos. El homogeneizado se centrifugó a baja velocidad (5000 g) durante 20 min. El sobrenadante se eliminó. La pastilla se lavó con 10 mL de agua estéril y se centrifugó a 5000 g durante 20 min. La pastilla se resuspendió en 2.0 mL de agua estéril y se transfirió en dos alícuotas a tubos Eppendorf. Los tubos se centrifugaron por 10 min a 12000 rpm, en una microfuga a temperatura ambiente. El sobrenadante se eliminó por decantación, se le agregaron 0.293 mL de EDTA 50 mM y 0.0075 mL de líticasa 20 mg/mL. La solución se mezcló suavemente con una micropipeta. La muestra se incubó durante 1 h a 37°C. Al término de la incubación, la muestra se centrifugó a 12000 g durante 2 minutos a temperatura ambiente y el sobrenadante se eliminó. La pastilla se congeló en nitrógeno líquido durante 3 min, se le adicionó 1.0 mL de DNazol (*in vitro*gen) y se descongeló lentamente a temperatura ambiente. Una vez descongelado, se aplicaron las instrucciones descritas por el fabricante para la obtención de DNA usando el kit DNazol marca GIBCO BRL, catálogo No. 1053.

Comparación de la secuencia ITS 1 y 2

Una de las regiones Inter génicas (ITS 1 y 2) de los genes ribosomales fueron amplificadas usando los pares de oligonucleótidos (ITS1: 5' CGGAATTCTCCG TAGGTGAACCTGCGG3', ITS2: 5'TTCTATGCTTAAATTCAGGGG3') y condiciones de amplificación empleadas por White *et al.* (1990). Las PCRs se realizaron en tubos de reacción de 0.2 mL en un volumen final de 25 μ L, conteniendo 0.2 mL de DNA polimerasa Taq platinum (Invitrogen), 200 μ M de cada uno de los desoxirribonucleótidos, dATP, dGTP, dCTP y dTTP; 20 mM de tris-HCl

(pH 8.4), 2.5 mM de MgCl₂, 0.5 μM de cada uno de los oligonucleótidos. La reacción de amplificación incluyó un ciclo de 5 min a 95°C para activar la Taq DNA polimerasa, seguido de 30 ciclos de un minuto cada uno a 95, 54 y 72°C, seguidos de un paso de extensión final a 72°C por 5 min. El producto de PCR fue visualizado por UV en geles de agarosa al 1% y teñidos con bromuro de etidio. La banda correspondiente al ITS 1 y 2 fue purificada utilizando un Kit de purificación rápida para productos de PCR (Ultrafree-DNA Mi-Ilipore). La secuenciación se realizó con los oligonucleótidos utilizados para amplificar las respectivas regiones en un solo fragmento. La de los fragmentos se llevó a cabo en un secuenciador automático ABI PRISM 310 Genetic Analyzer de Perkin-Elmer Applied Biosystems. Las secuencias obtenidas del aislado se compararon con las caracterizadas en diversas partes del mundo y reportadas en el banco de genes del NCBI (National Center of Biotechnology Information), mediante el programa BLAST que proporciona esta base de datos.

RESULTADOS

Síntomas

En todas las muestras analizadas, tallos y varas de árboles de eucalipto que presentaron cancro, se observaron lesiones sobre tejidos de la corteza externa e interna (Figura 2A). Además, también se advirtieron heridas climáticas, de deterioro natural, ocasionadas por insectos o de tipo mecánico, lo que sugiere que estas lesiones permitieron la entrada del patógeno para causar la infección.

La forma y el tamaño de los cancrios variaron y la mayoría invadieron tanto la corteza externa como la interna (Figura 2B). En ambos tipos de cortezas se reconocieron la presencia de exudaciones, presumiblemente toxinas o secreciones enzimáticas del hongo (Figura 2B), las cuales pudieron contribuir a la muerte de estos tejidos. La ubicación de los cancrios en los tallos de los árboles varió de los 0.10 m hasta los 6 a 7 m de altura. En la mayoría de los casos, la longitud del cancro fue de 25 a 50 cm; en muy pocos casos (<1%) se detectaron ejemplares de mayor dimensión. En estas lesiones se observaron las estructuras reproductivas del patógeno (Figura 2).

Caracterización microscópica de las estructuras del patógeno desarrolladas en el cancro

Los picnidios se localizaron en la superficie sobre el cancro o ligeramente hundidos en las cortezas de las muestras puestas en cámara húmeda, de forma cilíndrica, por lo general periformes, con un cuello atenuado. Se presentan solitarios o en

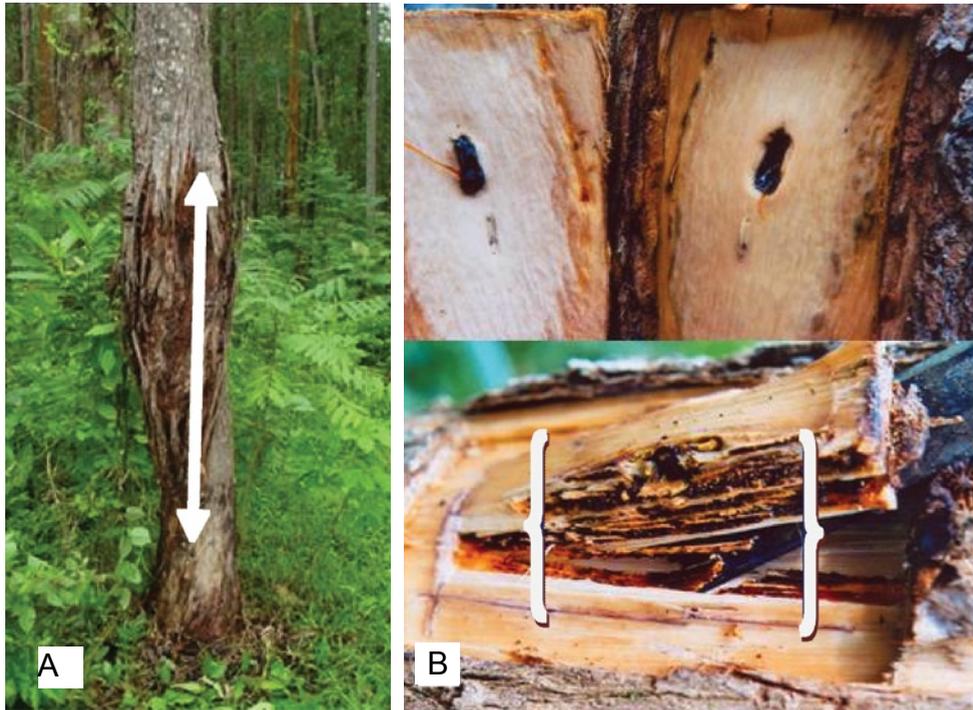


Figura 2. A) Síntomas de cancro presentes en tallo de eucalipto (flecha); B) Daño en tronco con exudaciones a nivel de corteza interna y externa (paréntesis).

grupos de dos a cinco; de color café claro a café rojizo tendiendo a naranja, a los 10 días obscurecieron casi al negro excepto la punta que continuó color café rojizo y en donde se observó una masa viscosa que contenía los conidios, los cuales midieron de 27.2-298.7 μm de largo x 189.5-328.6 μm de ancho (figuras 3 A, B y C).

Los peritecios aparecieron en las cortezas de las muestras incubadas en cámara húmeda en grupos o sueltos, con bases globosas y ligeramente hundidos en la corteza; se observan como pelos o cerdas muy finas, de color café brillante, después cambian a un color café oscuro y luego a uno negro cuando maduran. Los cuellos o *rostrum* sobresalen de la superficie de la corteza; están bifurcados en dos y hasta tres divisiones. Las medidas de estas estructuras fueron de 408.55 a 1357.67 μm de largo, con un promedio de 822.50 μm y de 137.25 a 366.55 μm de ancho, con un promedio de 245.92 μm . El grosor de la pared fue de 25.39 a 56.67 μm , con un promedio de 42.24 μm (Figura 3D).

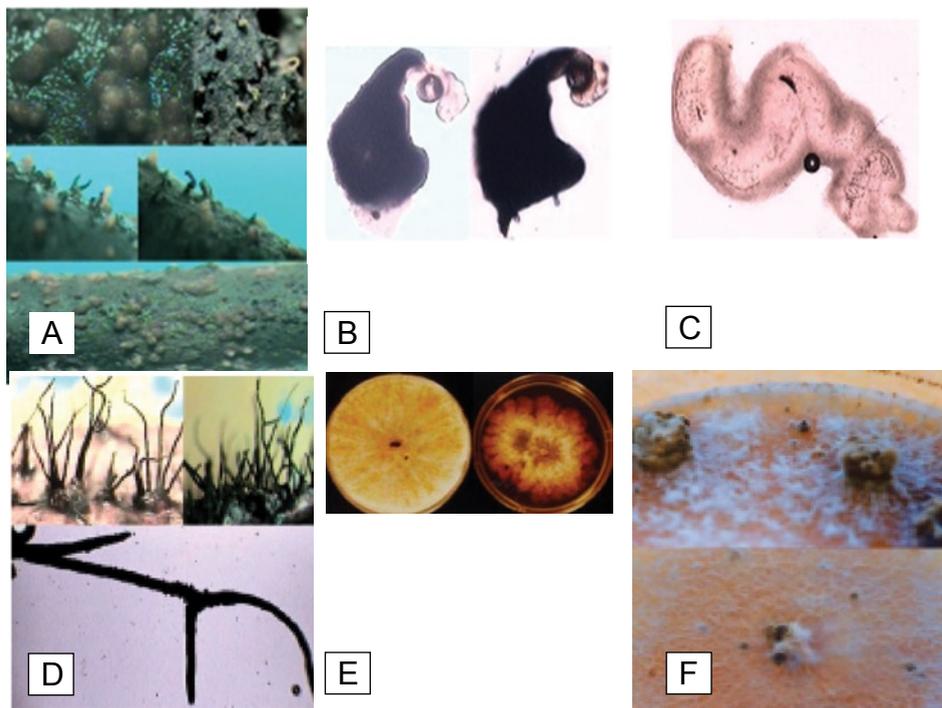


Figura 3. Estructuras reproductoras de *Chrysosporthe cubensis*: A) Picnidios (10X); B) Picnidios con masa de conidios (10X); C) Masa de conidios (40X); D) Peritecios (40X); E) Morfología de colonias fúngicas (4X); F) Cuerpos fructíferos en colonias fúngicas (4X).

Características de las colonias miceliares

Las colonias crecidas en malta-agar provenientes de los cuerpos fructíferos desarrollados en trozos de madera infectados mostraron coloración diversa. Sin embargo, el número de colonias con un mismo color fue diferente para cada sitio (Figura 4).

En los sitios 2 y 3 (Aguascalientes, Chis. y La Gasolinera, Oax., respectivamente), la mayoría de las colonias fue de tono blanco naranja, mientras que en el sitio 1 la proporción de colonias blanco naranja y blanco cremoso fue similar. La cantidad de colonias blancas siempre fue menor que las de otras coloraciones. A diferencia de las otras fuentes parentales, la mayoría de las colonias desarrolladas en U-pantar tuvieron color blanco anaranjado.

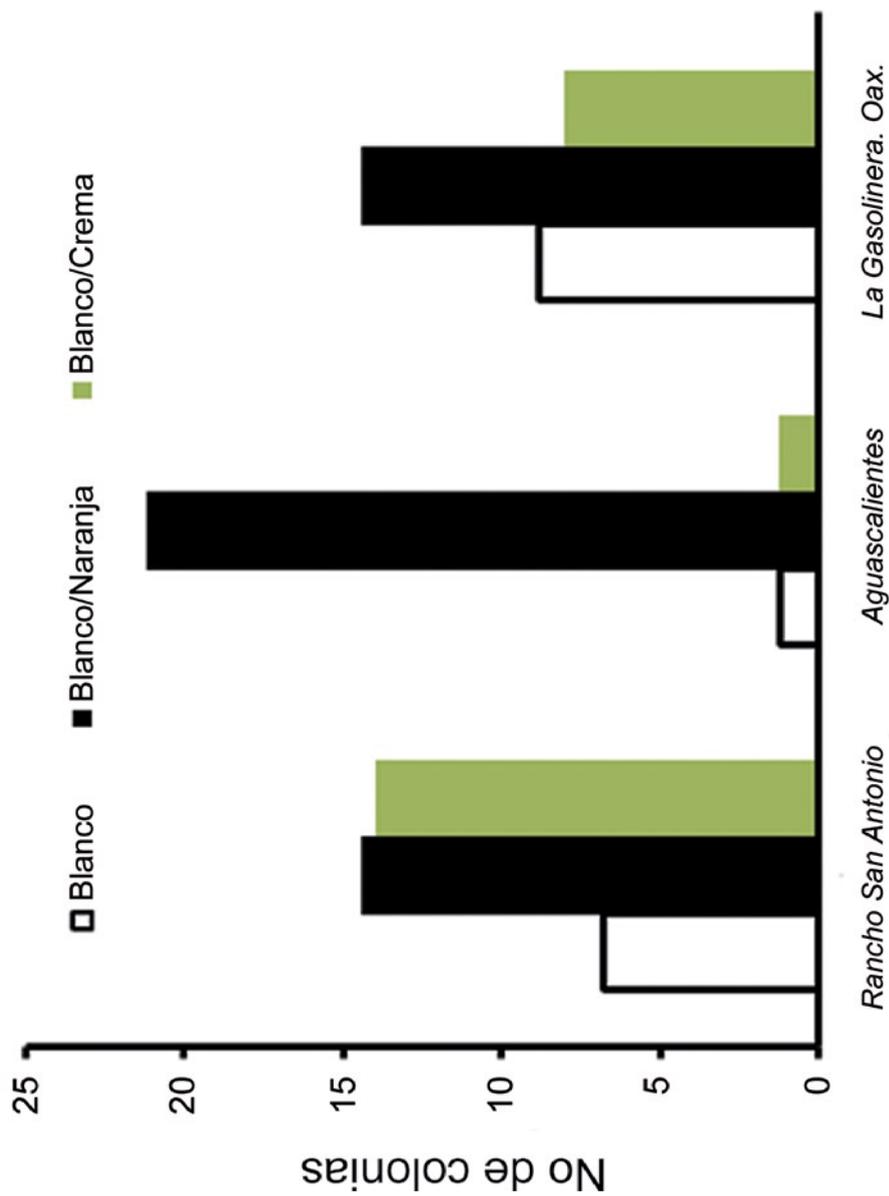


Figura 4. Total de colonias aisladas de corteza y ramas de árboles de eucalipto en tres sitios muestreados.

El micelio en el medio de cultivo MA e incubado a 27°C creció al principio del ensayo con un color blanco cremoso y formó filamentos en la periferia (Figura 3E).

Al centro de la colonia, el micelio se tornó de consistencia algodonosa a los cinco días. Después, en un lapso de ocho días, cambió de blanco cremoso a naranja pálido con un anillo concéntrico en el micelio. Entre los 11 y los 16 días de desarrollo se detectó la formación de los picnidios (Figura 3F).

El micelio que cubrió el ápice de estas estructuras se modificó hacia el tono naranja, y las esporas se tornaron de color naranja amelonado, lo que sucedió a los 21 días y la colonia cambió a un color naranja café (Figura 3E). De cada una de las colonias, se tomaron muestras con estructuras reproductivas, las cuales se colocaron en porta objetos con lactofenol y se cubrieron con cubreobjetos. Las observaciones se hicieron al microscopio compuesto a 20, 40 y 100X donde se pudieron apreciar las estructuras típicas del hongo *Chrysosporthe*.

Identificación por microscopia de luz de las estructuras fructíferas desarrolladas en el laboratorio

Las ascas fueron de forma claviforme o elíptica con un pedicelo de 24.91-33.12 μm de largo x 5.22-6.51 μm de ancho. Por lo general se contabilizaron ocho ascosporas por asca de forma halantoide, biseriadas, hialinas, oblongas a ovoides, bicelulares con un tabique central, ligeramente constreñidas en el propio tabique y midieron de 5.79-7.95 μm de largo x 2.19-3.05 μm de ancho (Figura 5A).

Los conidióforos pueden describir como ramificados, hialinos con células basales rectangulares y de apariencia globosa con dimensiones de 2.51-3.59 x 6.11-8.21 μm de largo total y de 2.01-2.52 x 4.52-5.98 μm . En general presentaron una emisión de ramas de forma irregular de aspecto cilíndrico, además de septas, cuya longitud total promedio fue de 2.01-2.52 x 4.52-5.98 μm (Figura 5B). Los conidios fueron unicelulares, ovoides, hialinos no septados con un intervalo de 2.71-3.68 μm de largo x 1.27 de ancho y un promedio de 3.02 de largo x 1.64 μm de ancho (Figura 5B).

Identificación molecular del agente causal

La identificación molecular de la especie del agente causal del cancro del eucalipto en el sureste mexicano se realizó mediante la amplificación por PCR de la región espaciadora interna (ITS1 y 2) de los genes ribosomales (rDNA). El producto de PCR: rDNA ITS fue de 595 pb (pares de bases) para los peritecios y 541 pb para

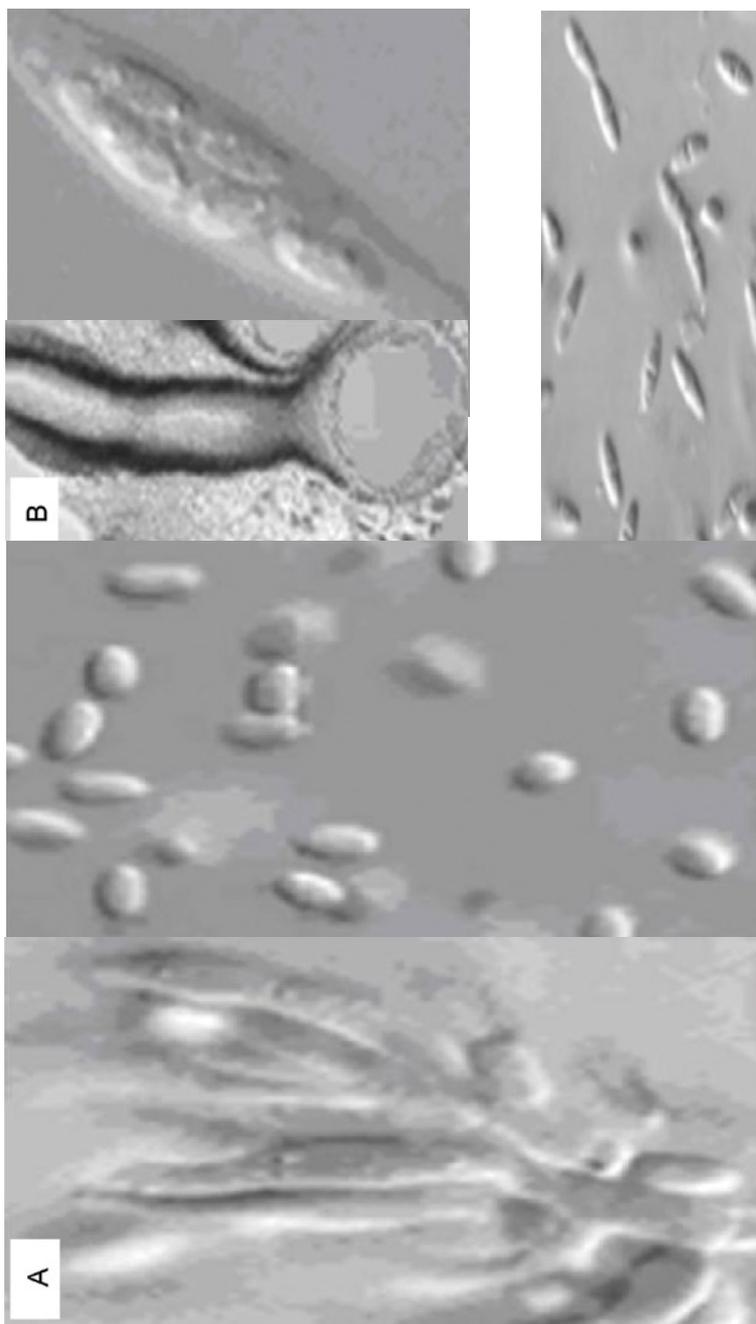


Figura 5. Microfotografías de cuerpos de fructificación observados al microscopio compuesto a 100X. A) Conidióforos y conidios; B) Peritecio, asca y ascosporas.

los picnidios, ambos desarrollados *in vitro*. Al comparar entre sí las secuencias de nucleótidos de cada producto de PCR, resultó que la longitud del fragmento de DNA amplificado fue mayor para los peritecios que para los picnidios. La secuencia de DNA 5' a 3' amplificada de los espaciadores inició en la base 61 del DNA proveniente de los peritecios, mientras que en el DNA amplificado de los picnidios lo hizo en la base 7. El final del ITS 2 alcanzó la posición 541 del DNA amplificado, proveniente de los peritecios y en la 486 de los picnidios (Cuadro 1).

Cuadro 1. Secuencias de los ADNs amplificados con ITS.

>5-3 ITS G5091 PERITECIO 595pb

TCCGTAGGTGAAACCTGCGGAGGGATCATTGCTGGAAGTGCGCCCCCT
ACGGGCGCAACCCAGATACCCTTTGTGAAGTATAACCTTTTTATCGTTGC
CTCGGCGCCGAGCCGGGAGTGCTCTTCTGTGCTCCCCACCGCGCAAG
CAGTGGAGCAGGCCCGCCGGCGGCCACCAAACCTTTGTTTTAGAAC
GTATCTCTTCTGAGTGTTTATAACAAACAAATGAATCAAACCTTTCAACAAC
GGATCTCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGT
AATGTGAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGC
GCCCGCTGGAATTCAGCGGGCATGCCTGTTTCGAGCGTCATTTCAACCC
TCAAGCCTGGCTTGGTGTGGGGCACTACCTGTTTCACAGCGGGTAGGCC
CTGAAATTTAATGGCGGGCTCGCTAAGACTCTGAGCGTAGTAGTTTTTATC
ACCTCGCTTTGGAAGGATTAGCGGTGCTCTTGCCGTAACCCCCCTCTT
CTTCTGAAATTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCCGAGAAGGAA

>5-3 ITS U-pantar PICNIDIO S3A4R4 541 pb

CGCAACCCAGATACCCTTTGTGAAGTATAACCTTTTTATCGTTGCCTCGG
CGCCGAGCCGGGAGTGCTCTTCTGTGCTCCCCACCGCGCAAGCAGTG
GAGCAGGCCCGCCGGCGGCCACCAAACCTTTGTTTTAGAACGTATCT
CTTCTGAGTGTTTATAACAAACAAATGAATCAAACCTTTCAACAACGGATC
TCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTAATGT
GAATTGCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCC
GCTGGAATTCAGCGGGCATGCCTGTTTCGAGCGTCATTTCAACCCTCAAG
CCTGGCTTGGTGTGGGGCACTACCTGTTTCACAGCGGGTAGGCCCTGAA
ATTTAATGGCGGGCTCGCTAAGACTCTGAGCGTAGTAGTTTTTATCACCTC
GCTTTGGAAGGATTAGCGGTGCTCTTGCCGTAACCCCCCTCTTCTTCT
GAAATTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCCGCTGAACTA

ACGT = Adenina, Citosina, Guanina y Timina. La primer secuencia fue inscrita en el Banco de genes del National Center for Biotechnology Information (NCBI) con número de registro EF063155.

Al comparar las secuencias de nucleótidos con las que tiene en el banco de genes del National Center for Biotechnology Information (NCBI), el

valor más alto de identidad para los dos productos de PCR se obtuvo con la especie *Ch. cubensis* (Cuadro 2). Estos resultados indican que el agente causal del cancro del eucalipto en las plantaciones del sureste es *Chrysosporthe cubensis*. Recientemente, este hongo fue conocido como *Cryphonectria cubensis*, y fue transferido al nuevo género *Chrysosporthe* con base en el agrupamiento filogenético que resultó de la comparación de las secuencias del operon ribosomal y del gen de la β -tubulina (Gryzenhout *et al.*, 2004).

Cuadro 2. Comparación de las secuencias de ITS de picnidios y peritecios con las de NCBI*.

Accesión	Descripción	Estadística	Longitud del alineamiento (%)	Valor de E	Identidad (%)	
EF063155.1	Este trabajo	Peritecios	100	0.0	100	
DQ368774.1	<i>Ch. cubensis</i>	CMW14404	889	80	0.0	100
DQ368773.1	<i>Ch. cubensis</i>	CMW14394	889	80	0.0	100
DQ368772.1	<i>Ch. cubensis</i>	CMW13046	889	80	0.0	100
AY956967.1	<i>Ch. voucher</i>	CV 10640	889	80	0.0	100
AY956966.1	<i>Ch. voucher</i>	CV 10638	889	80	0.0	100
AY214298.1	<i>Ch. cubensis</i>	Strain 9938	889	80	0.0	100
AY214297.1	<i>Ch. cubensis</i>	Strain 9980	889	80	0.0	100
EF063155.1	Este trabajo	Picnidios	985	98	0.0	100
DQ368774.1	<i>Ch. cubensis</i>	CMW14404	889	88	0.0	100
DQ368773.1	<i>Ch. cubensis</i>	CMW14394	889	88	0.0	100
DQ368772.1	<i>Ch. cubensis</i>	CMW13046	889	88	0.0	100
AY956967.1	<i>Ch. cubensis</i>	CV 10640	889	88	0.0	100
AY956966.1	<i>Ch. cubensis</i>	CV 10638	889	88	0.0	100
AY214298.1	<i>Ch. cubensis</i>	Strain 9938	889	88	0.0	100
AY214297.1	<i>Ch. cubensis</i>	Strain 9980	889	88	0.0	100

DQ Mycol. Res. 110:833-845 (2006); AY Plant. Phytol. 54:460-470 (2005)

DISCUSIÓN

Las características de los síntomas en los árboles de eucalipto, la forma y color del micelio, así como las características morfológicas de las estructuras de reproducción de los aislamientos indican que el agente causal del cancro del

eucalipto en la región del sureste es el hongo *Chrysosporthe cubensis*. Así mismo, los tiempos que tardan las colonias miceliales para realizar el cambio de apariencia y color fueron similares a las reportadas en otros trabajos publicados por CATIE (1991). Estudios realizados por otros investigadores demuestran que las ascosporas, conidióforos y conidios de *Ch. cubensis* son diferentes a otras especies de *Chrysosporthe*. En ella, las ascosporas son septadas en el centro o un poco fuera del centro con un espaciamiento irregular. Aunque el patrón de septas de la ascospora en otras especies de *Chrysosporthe* se desvían ligeramente del centro de las ascosporas, sólo en *Ch. cubensis* se ha informado que ocurra casi en el ápice de las esporas (Shear *et al.*, 1917; Kobayashi, 1970). Por otro lado, el tamaño de los cuerpos fructíferos aislados de las muestras de corteza y varas extraídas de las plantaciones, así como, el de las esporas fue similar a lo encontrado por otros investigadores (Barnard *et al.*, 1987).

En este estudio se observaron las formas anamorfa y telemorfa del hongo en muestras recabadas en el campo. Este resultado fue sorprendente ya que en la mayoría de los sitios donde el cancro es causado por *Chrysosporthe* spp., las especies presentan mayoritariamente sólo un tipo de reproducción. La característica dimórfica del hongo le podría conferir la posibilidad de crecer en otros huéspedes. En un estudio filogenético, Greyzenhout *et al.* (2006) reportan haber aislado este hongo en canchros encontrados en *Clidemia sericea* D. Don y *Rhynchanthera mexicana* DC., ambas de la familia Melastomataceae. Sin embargo, ellos no especifican la forma de reproducción que el hongo presentó y lo agruparon en el clado que acomoda las colecciones de hongos de Sudamérica.

El hecho de haber identificado este hongo en especies diferentes del eucalipto sugiere que en México, al igual que experimentos de inoculación hechos en Brasil (Seixas *et al.*, 2004), este hongo podría atacar diferentes especies de árboles con valor comercial como son el aguacate (*Persea americana* Mill.), la guayaba (*Marlierea edulis* Niedenzu) y la granada (*Punica granatum* L). Lo anterior establece la necesidad de desarrollar estrategias integrales para el manejo y control de este hongo, ya que debido a que no es un hongo huésped específico, puede causar enormes pérdidas económicas tanto en las plantaciones de eucaliptos, como en otras de interés comercial.

CONCLUSIÓN

Por las características morfológicas y moleculares que presentó el patógeno aislado de las muestras con canchros, se concluyó que el hongo *Ch. cubensis*, es el agente patógeno causante de la enfermedad cancro de los tallos del eucalipto.

AGRADECIMIENTOS

Se hace patente el agradecimiento por las facilidades proporcionadas para realizar el estudio a la empresa Forestaciones Operativas de México, S. A. de C. V. de Las Choapas Ver., así como a la empresa prestadora de servicios técnicos Yunkaax S. A. de Palenque, Chis. y a todos aquellos que de una u otra forma participaron para llevar a cabo este trabajo. Para ello se contó con fondos económicos provenientes del proyecto CONACYT-CONAFOR 2004-CO4-41 y el apoyo directo de la CONAFOR a la investigación "Caracterización molecular de *Chrysosporthe* procedente de tres plantaciones experimentales de *Eucalyptus* spp".

REFERENCIAS

- Bruner, S. C. 1916. A new species of *Endothia*. *Mycologia* 8: 239-242.
- Bruner, S. C. 1917. Una enfermedad gangrenosa de los eucaliptos. Estación Experimental Agronómica: Santiago de Las Vegas, Cuba. *Boletine* 37: 1-38.
- Borboom, J. H. A. and P. W. T. Maas. 1970. Canker of *Eucalyptus grandis* and *E. saligna* in Surinam caused by *Endothia havanensis*. *Turrialba* 20: 94 -99.
- Barnard, E. L., T. Geary, J. T. English and P. Gilly. 1987. Basal Cankers and coppice failure of *Eucalyptus grandis* in Florida, USA. *Plant Disease* 71:358-361
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1991. Plagas y enfermedades Forestales en América Central: Guía de campo/ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (Serie Técnica: Manual Técnico/CATIE: No. 4). Turrialba, Costa Rica. 185 p.
- Ceccon, E. y M. Martínez R. 1999. Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales: aplicación al caso de México. *Interciencia* 24 (6): 352-359.
- Cibrián T., D., M. T. Méndez y B. R. Campos. 1999. Como identificar las plagas y enfermedades en las plantaciones de eucalipto y gmelina. Guía de Campo. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. México. 77 p.
- Conradie, E., W. J. Swart and M. J. Wingfield. 1990. *Cryphonectria* canker of *Eucalyptus*, an important disease in plantation forestry in South Africa. *S. Afr. For. J.* 152: 43-49.
- Ferreira, F. A., M. S. Reis, A. C. Alfenas and C. S. Hodges. 1977. Avaliação da resistência de *Eucalyptus* spp. ao cancro causado por *Diaporthe cubensis* Bruner. *Fitopatologia Brasileira* 2: 225-241.
- Ferreira, F. A. 1989. Patologia florestal: Principias doenças florestais no Brasil. Sociedade de Investigações Florestais. Vicosa MG, Brasil. 570 p.
- Gibson, I. A. S. 1981. A canker diseases of *Eucalyptus* new to Africa. *FAO for Genet. Res. Inf.* 10: 23-24.

- Gryzenhout, M., H. Myburg, N. A. van der Merwe, B. D. Wingfield and M. J. Wingfield. 2004. *Chrysosporthe*, a new genus to accommodate *Cryphonectria cubensis*. *Studies in Mycology* 50: 119 -142.
- Gryzenhout, M., H. Myburg, B. D. Wingfield, F. Montenegro and M. J. Wingfield. 2005. *Chrysosporthe doradensis* sp. nov. pathogenic to *Eucalyptus* in Ecuador. *Fungal Diversity* 20: 39 – 57.
- Gryzenhout, M., C. Rodas, J. Mena-Portales, P. Clegg, B. D. Wingfield and M. J. Wingfield. 2006. Novel hosts of the *Eucalyptus* canker pathogen *Chrysosporthe cubensis* and a new *Chrysosporthe* species from Colombia. *Mycol Res.* 110: 833 – 845.
- Heath, R. N., M. Gryzenhout, J. Roux and M. J. Wingfield. 2006. Discovery of the *Cryphonectria* canker pathogen on native *Syzygium* species in South Africa. *Plant Disease* 60: 433 – 438.
- Hodges, C. S., M. S. Reis, F. A. Ferreira and J. D. M. Henfling. 1976. A cancro do Eucalipto causado por *Diaporthe cubensis*. *Fitopatologia Brasileira* 1: 129-162.
- Hodges, C. S., T. F. Geary and C. E. Cordell. 1979. The occurrence of *Diaporthe cubensis* on *Eucalyptus* in Florida, Hawaii and Puerto Rico. *Plant Dis.* 63: 216–220.
- Hodges, C. S. 1980. The taxonomy of *Diaporthe cubensis*. *Mycologia* 72: 542–548.
- Hodges, C. S., A. C. Alfenas and C. E. Cordell. 1986. The conspecificity of *Cryphonectria cubensis* and *Endothia eugeniae*. *Mycologia* 78:343-350.
- Kobayashi, T. 1970. Taxonomic studies of *Japanese diaportheaceae* with special reference to their life histories. *Bull. Gov. For. Exp. St.* 226:132-147.
- Krugner, T. L. and C. G. Auer. 1997. Doenças do eucalipto. In: H. Kimati, L. Amorin, A. Bergamim Filho, L. E. A. Camargo y J. A. M. Rezende (Eds.). *Manual de Fitopatologia. Vol. 2: Doenças das Plantas Cultivadas.* Editora Agronômica Ceres. São Paulo, Brasil. pp. 357 – 358.
- Myburg, H., M. Gryzenhout, R. N. Heath, J. Roux, B. D. Wingfield and M. J. Wingfield. 2002. *Cryphonectria* canker on *Tibuchina* in South Africa. *Mycological Research* 106 (11): 1299 – 1306.
- Myburg, H., M. Gryzenhout, B. D. Wingfield and M. J. Wingfield. 2003. Conspecificity of *Endothia eugeniae* and *Cryphonectria cubensis*: a reevaluation based on morphology and DNA sequence data. *Mycoscience* 104:187–196.
- Obregón, C. y N. Restrepo. 2000. El eucalipto. Una opción de alta rentabilidad. Programa forestal Colombiano. *www.Revista-MM.com.* (17 de mayo de 2008).
- Old, K. M. and E. M. Davison. 2000. Canker diseases of Eucalypts. In: P. J. Keane, G. A. Kile, F. D. Podger and B. N. Brown (Eds.) *Diseases and pathogens of eucalypts.* CSIRO Publishing. Collingwood, Victoria, Australia. pp. 241–257.
- Rodas, C. A., M. Gryzenhout, H. Myburg, B. D. Wingfield and M. J. Wingfield. 2005. Discovery of the eucalyptus canker pathogen *Chrysosporthe cubensis* on native *Miconia* (Melastomataceae) in Colombia. *Plant Pathology* 54: 460–470.

- Seixas C., D. S., R. W. Barreto, A. C. Alfenas and F. A. Ferreira. 2004. *Cryphonectria cubensis* on an indigenous host in Brazil: a possible origin for eucalyptus canker disease? *Mycologist* 18: 39–45.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. Las Plantaciones Forestales Comerciales en México. Dirección de Plantaciones Forestales Comerciales. Documento Informativo No. 2. pp. 1–10.
- Shear, C. L., N. E. Stevens and R. J. Tiller. 1917. *Endothia parasitica* and related species. United States Department of Agriculture. Bulletin 380. Washington, DC. USA. pp. 1–82.
- Van Heerden S. W., M. J. Wingfield, T. Coutinho, L. M. Van Zyl and J. A. Wright. 1997. Diversity of *Cryphonectria cubensis* isolates in Venezuela and Indonesia. Proceedings IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, Salvador, Brasil, August 24–29. EMBRAPA, Colombia. pp. 142–146.
- Van Heerden, S. W. and M. J. Wingfield. 2001. Genetic diversity of *Cryphonectria cubensis* isolates in South Africa. *Mycol. Res.* 105:94–99.
- Venter, M., H. Myburg, B. D. Wingfield, T. A. Coutinho and M. J. Wingfield. 2001. A new species of *Cryphonectria* from South Africa and Australia, pathogenic on *Eucalyptus*. *Sydowia* 54: 98–119.
- Wingfield, M. J., W. J. Swart and B. J. Abear. 1989. First record of *Cryphonectria* canker of *Eucalyptus* in South Africa. *Phytophylactica* 21: 311–313.
- White, T. J., T. Bruns, S. Lee and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *In*: PCR Protocols: a guide to methods and applications. Academic Press. San Diego, CA, USA. pp. 315–322.

RECONSTRUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIONAL PARA EL BARLOVENTO DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL CON ANILLOS DE CRECIMIENTO DE *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

José Villanueva Díaz¹, Peter Z. Fulé², Julián Cerano Paredes¹,
Juan Estrada Ávalos¹ e Ignacio Sánchez Cohen¹

RESUMEN

El noroeste de México es una región de vanguardia en aspectos agrícolas pero con alta dependencia del agua de escurrimiento y de los acuíferos, cuya fuente de recarga son las cuencas hidrológicas de la Sierra Madre Occidental. Estudios paleoclimáticos para determinar la variabilidad hidroclimática son escasos en esta región. Se desarrollaron cronologías de madera temprana de 531 años (1472–2002) y 554 años (1449–2002) de extensión de *Pseudotsuga menziesii* para bosques templados en cuencas que drenan hacia la Planicie Costera del Pacífico; se generaron para Tutuaca, Chihuahua y El Cócono, Guanaceví, Durango, respectivamente, y son muy sensibles a la precipitación estacional acumulada invierno-primavera (octubre–mayo). Las reconstrucciones se asemejan entre sí ($r = 0.61$, $p < 0.00001$; período 1472–1999) e indican episodios secos que afectaron a esta región y que se presentaron con una intensidad y duración igual o superior a las sequías del siglo XX. Las más severas y prolongadas se verificaron en las décadas de 1560, 1700 y 1770 y algunas de ellas han sido reportadas en archivos históricos por producir hambrunas y epidemias generalizadas. El impacto de la fase cálida de ENSO en esta región de México incrementa la precipitación y la fase fría la disminuye, aunque este efecto no ha sido constante a través del tiempo, como lo confirma la relación existente entre precipitación reconstruida e Índice de Lluvia Tropical. La elaboración de un mayor número de cronologías es importante para conocer la variabilidad hidroclimática, especialmente la de verano, de mayor relevancia hidrológica en esta zona.

Palabras clave: Dendrocronología, ENSO, madera temprana, *Pseudotsuga menziesii*, sequía, Sierra Madre Occidental.

Fecha de recepción: 12 de marzo de 2008.

Fecha de aceptación: 16 de febrero de 2009.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria - Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA), INIFAP. Correo-e: villanueva.jose@inifap.gob.mx

² Instituto de Restauración Ecológica, Facultad Forestal, Universidad del Norte de Arizona.

ABSTRACT

Northwest Mexico is a leader region in terms of agriculture, but is highly dependant on aquifers and on surface water from watersheds of the Sierra Madre Occidental draining toward the Pacific. Paleoclimate studies to determine historical hydroclimate variability are rare in this region. Two earlywood chronologies of *Pseudotsuga menziesii* were developed for mixed-conifer stands in the Sierra Madre Occidental. One of them is 531 years in length (1472–2002) and is located in Tutuaca, Chihuahua; the second one located in El Cócono, Guanaceví, Durango, is 554 years length (1449–2002). The earlywood chronologies are significantly related to the seasonal winter-spring precipitation (October–May) and respond similarly ($r = 0.61$, $p < 0.00001$; period 1472–1999) to precipitation. They detect drought periods of greater intensity than those witnessed during the 20th century. The most intensive and prolonged drought episodes were reconstructed for the 1560s, 1700s, and 1770s. Historical archives indicate that some of these droughts were related to famine and epidemic outbreaks. The warm phase of ENSO has a strong signal in this region and produces above normal precipitation, whereas the cold phase is related to drought. Moreover, the ENSO signal is not stable and changes through time as indicated by the correlation between precipitation and the Tropical Rainfall Index. The development of a greater number of tree-ring chronologies is basic to understand the hydroclimate variability of the warm season (summer), which is of greater hydrological importance.

Key words: Dendrochronology, ENSO, earlywood, *Pseudotsuga menziesii*, drought, Sierra Madre Occidental.

INTRODUCCIÓN

El clima de las regiones norte y noroeste de México se clasifica como semiárido debido a la presencia de los desiertos Chihuahuense y Sonorense, lo que implica que por esta característica ecofisiográfica, dicha región tan extensa de México sólo reciba una precipitación anual que en promedio no sobrepasa los 350 mm en el semidesierto y de 800 a 1,000 mm en partes elevadas de la Sierra Madre Occidental (SMO). Este macizo montañoso constituye la fuente principal de agua para asentamientos humanos que se ubican tanto en la Planicie Costera del Pacífico como en la Altiplanicie del Desierto Chihuahuense, con una población de casi seis millones de habitantes tan solo para los estados de Chihuahua y Sonora. Sin embargo, ha sufrido un fuerte deterioro a consecuencia de cambios en el uso del suelo, es decir, aprovechamientos forestales desmedidos, sobrepastoreo, apertura de áreas agrícolas, explotaciones mineras e incendios de origen antropogénico, lo que ha impactado el ciclo hidrológico y se ha traducido en problemas de erosión hídrica,

disminución de recarga de acuíferos, problemas de calidad de agua y pérdida de biodiversidad, entre otros (Comisión Nacional del Agua, 2007).

En los últimos años, el problema de disponibilidad de agua se ha incrementado de manera notoria en los estados de Nayarit, Sinaloa y Sonora. Aquí, más del 90% es utilizada para irrigar una superficie agrícola cercana a 1×10^6 ha, que procede de presas construidas a lo largo de los principales cauces de la vertiente occidental (barlovento) de la SMO que drenan hacia la Planicie Costera del Pacífico, así como de pozos profundos que se han perforado en el lugar para paliar el déficit de la última década y muchos de los cuales, por su excesiva extracción y abatimiento, muestran problemas serios de intrusión de agua salina y, por ende, de su limitada calidad para usos agrícolas; caso concreto son los acuíferos de Caborca, Guaymas y Costa de Hermosillo, Sonora. Menos del 10% del total de agua se destina a uso público e industrial, por lo que el conflicto entre el sector agrícola y un sector urbano cada vez más creciente, se ha acentuado, de tal forma que en ciudades como Hermosillo, las autoridades municipales han adoptado medidas estrictas para ahorrar este vital líquido (Stratus Consulting Incorporation-UNAM-Colegio de Sonora, 2004).

En la última década, el aumento poblacional e industrial en el noroeste de México aunado a la presencia de condiciones climáticas anómalas, ha provocado una disminución significativa en la precipitación y, en consecuencia, en la captación de agua en las presas y, por lo tanto, en su disponibilidad. De esta forma en el año 2001, este recurso fue declarado por el gobierno mexicano como tema de seguridad nacional (Comisión Nacional del Agua, 2007).

El calentamiento global y su impacto en el ciclo hidrológico son temas de gran relevancia, que demandan información detallada de la variabilidad hidroclimática pasada para entender e interpretar su comportamiento actual y contar con las herramientas técnicas para hacer inferencias futuras. Sin embargo, para modelar la disponibilidad del agua bajo diversos escenarios climáticos es necesario tener un conocimiento previo del comportamiento histórico del clima, así como cuantificar la influencia de patrones circulatorios que lo han afectado. Esto no puede derivarse exclusivamente de los datos climáticos instrumentales existentes, que por su corta extensión (<70 años) y calidad dudosa (datos faltantes, incongruencias, etc.), restringen su uso para generar antecedentes confiables que permitan inferir su futuro.

Los anillos de árboles constituyen la fuente "proxy" más apropiada de resolución anual para entender el clima ancestral, pues su crecimiento anual está influenciado por las condiciones ambientales dominantes durante la formación de los mismos.

Estudios dendroclimáticos en esta región de México han sido muy limitados en tiempo y espacio (Villanueva y McPherson, 1999; Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003), por lo que el objetivo de este estudio es generar cronologías de anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, de especímenes ubicados en ecosistemas de bosque mixto de la SMO y utilizarlos como “proxy” de la precipitación de los últimos 500 años para el parteaguas de las cuencas que drenan hacia la Planicie Costera del Pacífico y que son la fuente de agua para una superficie de riego que se aboca en gran medida a una agricultura de exportación. Esta información coadyuvará a determinar la variabilidad hidroclimática histórica de alta (anual) y baja frecuencia (decenal), presencia de eventos climáticos extremos, su ciclicidad en el tiempo e impacto de patrones de circulación atmosférica que han afectado la disponibilidad de agua en esta región. Con fundamento en lo anterior, se plantea la hipótesis de que el conocer esta variabilidad climática histórica permitirá el desarrollo de acciones tendientes a formular planes de manejo que coadyuven a un uso sustentable de los recursos hídricos en esta zona de alta productividad agrícola de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

Los sitios de interés se ubican en el parteaguas de las cuencas de la SMO que drenan hacia la Planicie Costera del Pacífico. Uno de ellos está en el área natural protegida Tutuaca o Bisaloachi, municipio de Temosachi, al oeste de Chihuahua (28° 39.72' N, 108° 17.43 W; 2,744 m) y uno más en el ejido El Cócono, municipio de Guanaceví, Durango (25 57.06' N, 106 21.36' W; 1,950 m) (Figura 1). La vegetación corresponde a un bosque mixto con un estrato dominante arbóreo de *Pinus durangensis* C.A. Ehrenb., *Pinus arizonica* Engelm, *Pinus ayacahuite* C.A. Ehrenb., *Pseudotsuga menziesii*, oyamel (*Abies durangensis* Martínez), madroño (*Arbutus xalapensis* Kunth.) y diversas especies de encino (*Quercus* spp). En el sotobosque se observa una gran variedad de especies arbustivas y herbáceas (González *et al.*, 2007).

El suelo es somero, rocoso y de origen volcánico con dominancia de material riolítico (riolitas, tobas ácidas, basaltos) y rocas piroclásticas, con una profundidad del primer horizonte que en general nos sobrepasa los 20 cm, a excepción de sitios bajos y valles donde la profundidad de suelos de acarreo (aluvión) es notoria (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1999a; 1999b).

El clima se clasifica como templado, semifrío y subhúmedo con lluvias de verano y de humedad media, tipo C(E)(w,) con un intervalo entre 500 y 800 mm anuales

de precipitación y una temperatura media anual de 5 a 12°C (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2003). En el pasado, estos rodales fueron aprovechados selectivamente, lo que permitió conservar especímenes arbóreos en partes del bosque de difícil acceso. Ahí muchos de los árboles de *Pseudotsuga* superan los 300 años de edad y en un paraje del ejido El Cócono se detectaron ejemplares vivos de 550 años, situación que es de suma importancia para definir la esperanza de vida de esta especie y para extender en el tiempo las cronologías de anillos de árboles existentes.

Los incendios también son un factor común que ha modificado la estructura y biodiversidad del área e históricamente se presentaron a intervalos medios de frecuencia de 3.9 a 5.2 años, aunque esta temporalidad ha declinado marcadamente en los últimos 50 años debido a cambios en el uso del suelo, supresión de incendios, muchos de ellos de origen antropogénico (Fulé *et al.*, 2005; Cerano, 2008; Drury y Veblen, 2008).

Una característica especial de estos sitios es que constituye hábitat de anidamiento de la cotorra o guacamaya serrana (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* Swainson, 1827), especie catalogada en peligro de extinción (Lammertink *et al.*, 1996; Monterrubio-Rico y Enkerlin-Hoeflich, 2004).

Métodos utilizados

En los meses de noviembre de 2002, mayo y noviembre de 2003, en parajes de bosque mixto de la SMO al oeste de Chihuahua y noroeste de Durango, en cuencas hidrológicas que drenan hacia la planicie costera del Océano Pacífico, se muestrearon especímenes de *Pseudotsuga menziesii*, especie considerada de alta sensibilidad climática.

De cada árbol seleccionado, se extrajeron de dos a tres virutas (núcleos de crecimiento) por árbol a la altura del pecho, perpendicular a la pendiente, en lados opuestos al fuste y con el apoyo de un taladro de Pressler; así mismo, con motosierra se obtuvieron tramos transversales de tocones, árboles muertos o de madera semienterrada (subfósil) en el piso forestal.

Los núcleos de crecimiento se identificaron, montaron y pegaron en secciones acanaladas de madera para facilitar su manejo; posteriormente se les pulió intensamente con lija de diferente calibre, de grueso a fino (granos 120, 220, 360 y 400); el mismo procedimiento de pulido se aplicó a las secciones trasversales para resaltar sus estructuras de crecimiento.

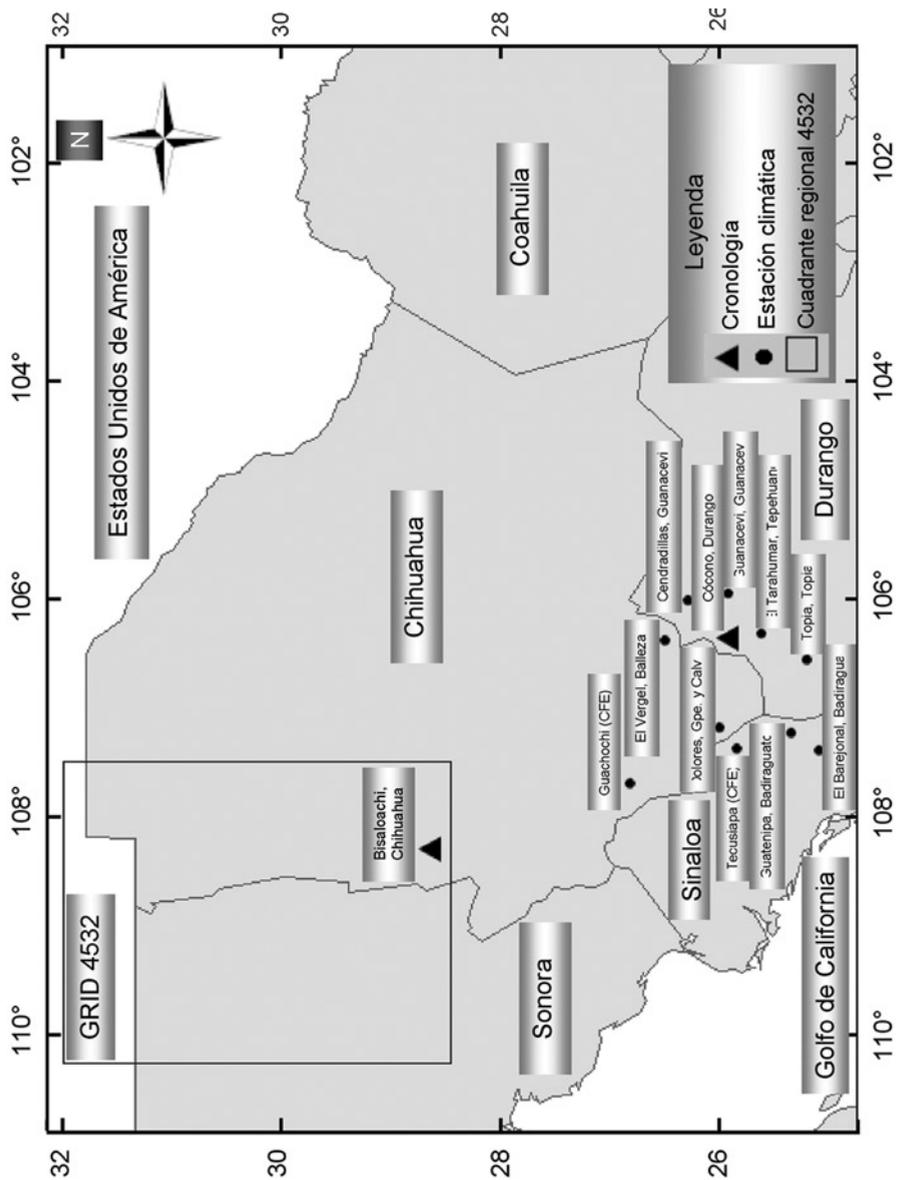


Figura 1. Distribución de los sitios de muestreo de *Pseudotsuga menziesii* en la Reserva de Flora y Fauna Silvestre Tutuaca, Bisalochi, Chihuahua y el Cócono, Guanaceví, Durango.

En el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP y con el apoyo de un estereomicroscopio trinocular de alta resolución marca Olympus Corporation, modelo SZ2-IST y técnicas dendrocronológicas estándar, los anillos se contaron y fecharon al año exacto de su formación (Stokes y Smiley, 1968). La técnica del fechado cruzado o cofechado para determinar el año de formación de cada crecimiento, consistió en la identificación de patrones comunes de la variación interanual de los anillos de crecimiento, que se repiten de una muestra a otra, de tal forma, que a cada uno se le asignó una fecha exacta de formación.

Posterior al fechado de las muestras, cada anillo anual se dividió de forma visual en bandas de madera temprana (EW, siglas en Inglés) y de madera que se caracteriza por poseer células relativamente grandes, blanquecinas con pared celular delgada y grandes vacuolas; madera tardía (LW, siglas en Inglés), constituida por células más pequeñas, de pared lignificada y mayor densidad, lo que les confiere una coloración oscura, así como anillo total que integra tanto a la madera temprana como a la tardía (RW, siglas en Inglés) (Cleaveland, 1986).

Las bandas o secciones de crecimiento se midieron de modo individual con un sistema de medición VELMEX y en el caso de existir un anillo falso (anillo doble anual), la medición del inicio de la madera tardía se consideró a partir de la segunda banda de crecimiento falso (Cleaveland, 1988). El cofechado, calidad de la respuesta climática y exactitud de la medición de cada anillo se verificó con el programa COFECHA, el cual correlaciona períodos de 50 años con traslape entre ellos de 25 años (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001).

Las tendencias biológicas (competencia, supresión, liberación) y geométricas (incremento en el área de fuste con la edad) no relacionadas con el clima, se removieron con el programa ARSTAN, al insertar una curva exponencial negativa o línea recta a la serie de medición y luego al dividir cada valor anual de medición entre el valor obtenido de la curva. Esto creó una serie de índices normalizados (cronologías) con media de 1.0 y varianza homogénea (Cook, 1987).

Para determinar la influencia del clima en el crecimiento estacional de la cronología de *Pseudotsuga* del sitio Bisaloachi, Chihuahua se utilizó el cuadrante de precipitación regional "4532" que incluye parte de las estaciones climáticas ubicadas al noroeste de Chihuahua y al este de Sonora (Hulme *et al.*, 1998). Por otra parte, la cronología de El Cócono se comparó con datos promedio mensual de una precipitación regional que integra varias estaciones climáticas enclavadas en los límites fronterizos de los estados de Chihuahua, Durango y Sinaloa, dentro de la SMO.

La relación climática entre precipitación y crecimiento anual se investigó con la subrutina “Análisis de Función de Respuesta” (RESPO) incluida en el paquete de Programas Dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés). Posteriormente, con la subrutina VERYFY5 (Calibración–Verificación) del paquete DPL, a la mitad de los datos climáticos disponibles se les aplicó una calibración entre la cronología y los registros estacionales de lluvias, con la mitad restante, se corrió una verificación (Fritts, 1991). Al final se obtuvo una ecuación de transferencia para el período total de datos disponibles de precipitación, que fue incorporada para desarrollar la reconstrucción de precipitación en la longitud total de las cronologías.

A las series de alta frecuencia (resolución anual) se les ajustó una curva decenal flexible (baja frecuencia) para resaltar eventos secos o húmedos presentes en las reconstrucciones (Cook y Peters, 1981). La semejanza entre ellas se analizó al correlacionar su período común y para subperíodos de 50 años. Los períodos de sequía detectados en las reconstrucciones, se validaron con documentos históricos en la medida de lo posible.

Para analizar el impacto de patrones atmosféricos circulatorios en la variabilidad hidroclimática de la región, se aplicó el Índice de Lluvia Tropical (TRI, siglas en inglés). Este índice constituye un estimativo de la variabilidad de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en Inglés) al usar anomalías de precipitación en la parte central del Pacífico y que se considera más estable que el índice de diferencias de presión Tahiti-Darwin (Wright, 1979).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reconstrucción de la precipitación

Cronologías de madera temprana, tardía y anillo total de *Pseudotsuga menziesii* con una extensión de 531 años (1472–2002) y 554 años (1449–2002) se generaron para el Área Natural Protegida Tutuaca y El Cócono, respectivamente. Las cronologías muestran una sensibilidad climática alta, lo que es característico de coníferas como *Pseudotsuga* en estas latitudes del norte de México (Stahle *et al.*, 2000a) (Cuadro 1).

La función de respuesta entre las series de cronologías (EW, LW, RW) producidas para el sitio Bisaloachi, Chihuahua y los datos climáticos instrumentales indicó que sólo la cronología EW produjo una correlación significativa ($p < 0.05$) con datos climáticos de los meses de noviembre del año previo y febrero, marzo y abril del año actual de crecimiento y de manera estacional para el período de octubre

Cuadro 1. Estaciones climáticas y cronologías EW usadas en este estudio.

Nombre	Latitud °N	Longitud °W	Altitud (m)	Período	Datos disponibles (%)		
Estaciones climáticas							
Dolores, Guadalupe y Calvo, Chih.	26.00	107.18	885	1957-98	90.3		
Guachochi, Chih.	26.82	107.70	1320	1953-98	95.4		
El Vergel, Balleza, Chih.	26.50	106.38	2240	1961-2003	73.6		
Cendradillas, Guanaceví, Dgo.	26.30	106.02	2500	1961-2003	94.1		
El Tarahumar, Tepehuanes, Dgo.	25.62	106.32	2435	1964-2004	99.7		
Guanaceví, Guanaceví, Dgo.	25.93	105.95	2300	1922-2004	98.6		
Topia, Topia, Dgo.	25.20	106.57	1770	1947-85	97.0		
El Barejonal, Badiraguato, Sin.	25.10	107.40	122	1961-2001	98.2		
Guatenipa, Guadiraguato, Sin.	25.35	107.23	----	1964-2001	99.8		
Tecusiapa, Sin.	25.85	107.38	640	1961-93	93.8		
Cuadrante regional 4532 (noroeste de Chihuahua y noreste de Sonora)	28.5 - 32	107.5 - 110.2	----	1900-98	100		
Cronologías EW de anillos de árboles							
Nombre	Latitud °N	Longitud °W	Altitud (m)	Período	No. de Árboles/ radios	S _{Ma}	Promedio
Bisaloachi, Chihuahua	28.66	108.29	2744	1472-2002	38/43	0.29	0.58 ^b
Cócono, Durango	25.95	106.36	1950	1449-2002	20/34	0.27	0.61 ^c

^a Sensitividad media, que consiste en el porcentaje promedio de cambio de los índices dendrocronológicos entre años (Fritts, 2001).

^b Correlación media entre árboles para el período común 1778 – 1976.

^c Correlación media entre árboles para el período común 1677 – 1904.

del año previo a mayo del año actual de crecimiento; caso similar ocurrió con la cronología EW de El Cócono que respondió de forma notoria al período estacional de precipitación noviembre-mayo.

Al correlacionar la cronología EW de Bisaloachi y la precipitación otoño-primavera (octubre-mayo) para el período total de registros climáticos disponibles (1950-1990), se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 0.513 (Figura 2), que se incrementó a 0.616 para el subperíodo 1970-1990 pero se redujo a 0.37 para el correspondiente a la verificación (1950-1969); no obstante este resultado, el programa VERIFY5 confirmó que, tanto la calibración como la verificación, pasaron la pruebas de significancia ($p < 0.05$) para la correlación, reducción de error, valor de "t" y primera diferencia significativa, por lo que la ecuación lineal para el período total de datos instrumentales se consideró estadísticamente válida para propósitos de reconstrucción.

La cronología de El Cócono mostró una asociación significativa con los datos regionales de precipitación de noviembre a mayo del período 1941-1990 con una r^2 de 0.64, valor que se incrementó a 0.71 para el subperíodo 1966-1990 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Calibración para las reconstrucciones de precipitación estacional octubre-mayo regional (cuadrante 4532) mediante la cronología EW de *Pseudotsuga menziesii* de Bisaloachi y de noviembre-mayo del territorio entre Durango, Chihuahua y Sinaloa.

Periodo	r^2 ajustada	Coeficientes		Error Estandar	Prueba de "t"	Probabilidad ¹
		a	b			
Bisaloachi, Chihuahua						
1950-1990	0.513	- 111.8	290.69	45.39	6.4	1.43E-07
1970-1990	0.616	- 87.62	288.04	52.14	5.52	2.5E-05
El Cócono, Guanaceví, Durango						
1941-1990	0.64	- 93.3	212.2	23.9	8.9	2.73E-11
1966-1990	0.71	- 85.5	226.4	30.7	7.4	2.9E-07

¹La calibración fue significativa para todos los casos ($p < 0.0001$).

Al igual que con la cronología de Bisaloachi, el programa VERIFY5 indicó que el proceso de calibración-verificación fue significativo para las pruebas estadísticas involucradas, por lo que la ecuación obtenida para el período total de calibración fue válida para la reconstrucción (Cuadro 3, Figura 3).

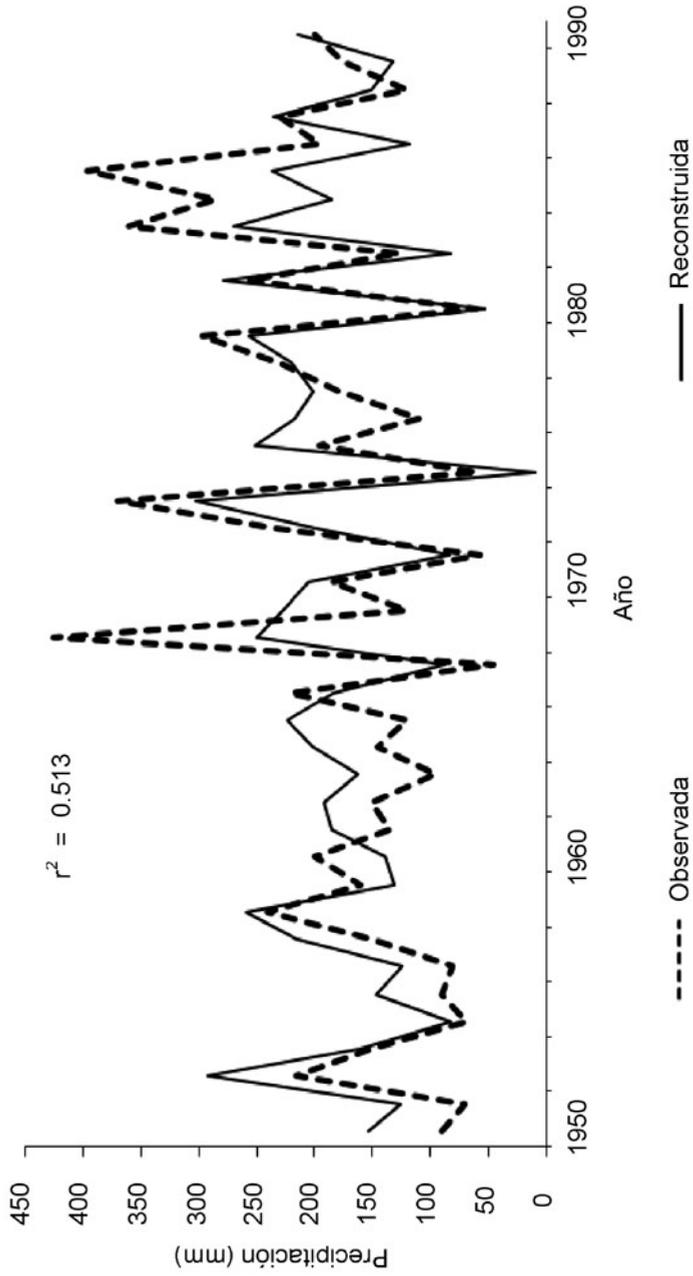


Figura 2. Comparación entre los datos de precipitación estacional (octubre–mayo) observados (línea punteada) y reconstruidos (línea sólida) del período 1950–1990.

Cuadro 3. Pruebas estadísticas de la verificación para la reconstrucción de precipitación estacional octubre–mayo (cronología EW de Bisaloachi y datos del cuadrante 4532) y para la reconstrucción estacional de precipitación noviembre–mayo (cronología EW de El Cócono).

Período	Correlación de Pearson (r)	Reducción de error ^a	Valor de ^b t	Prueba de signos ^c	Primera diferencia negativa ^d
Cronología EW de Bisaloachi, Chihuahua					
1950–1969	0.785*	0.6163*	3.32*	5*	2*
1970–1990	0.637*	0.372*	2.43*	6 NS	3*
Cronología EW de El Cócono, Durango					
1941–1965	0.849	0.72*	2.26*	10 NS	0*
1966–1990	0.823	0.71*	1.19 NS	12 NS	2*

*Significativos, $p < 0.05$; NS: No significativo ($p > 0.05$)

^aNo existe una prueba formal de significancia para este estadístico; sin embargo cualquier resultado sobre cero indica que la reconstrucción contribuye únicamente con información paleoclimática (Fritts, 2001).

^bComparación apareada de las medias observadas y reconstruidas. El resultado deseado es que no exista significancia (Steel y Torrie, 1980).

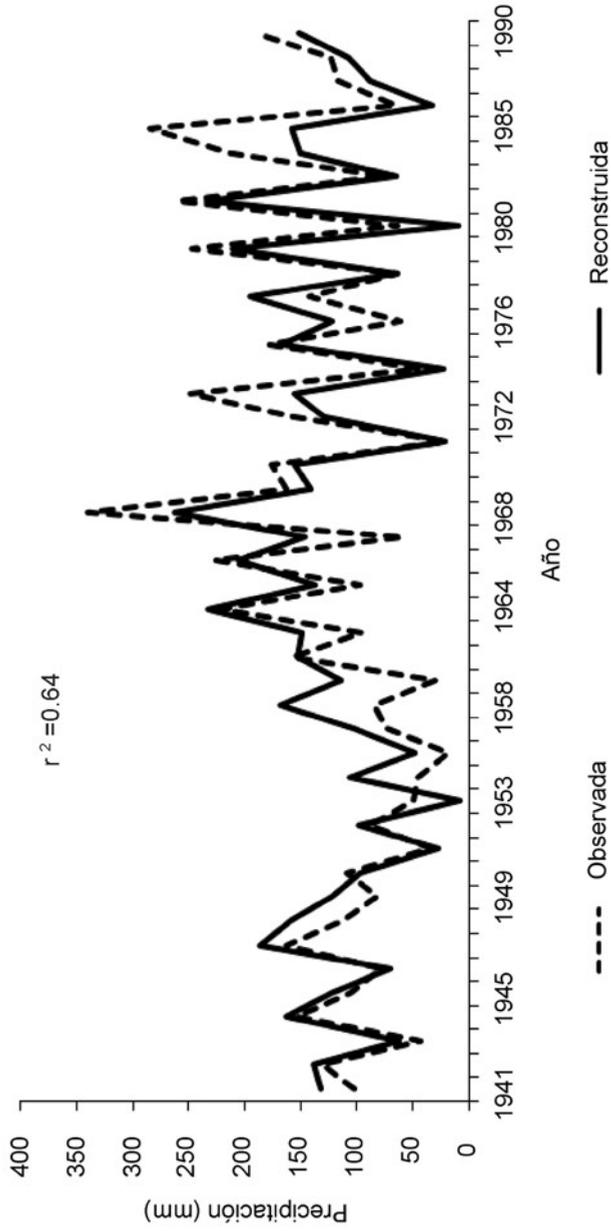
^cSe usa para comparar las diferencias entre dos muestras de datos tomados antes y después del tratamiento, cuyo valor central se espera que sea cero (Fritts, 2001).

^dPrimera diferencia de los datos observados y reconstruidos ($t - t-1$) (Fritts, 2001).

La reconstrucción de precipitación desarrollada con la cronología EW del sitio Bisaloachi para la región limítrofe de Chihuahua y Sonora destaca sequías recurrentes que afectaron a esta zona a lo largo de 531 años (1472–2002) (Figura 4).

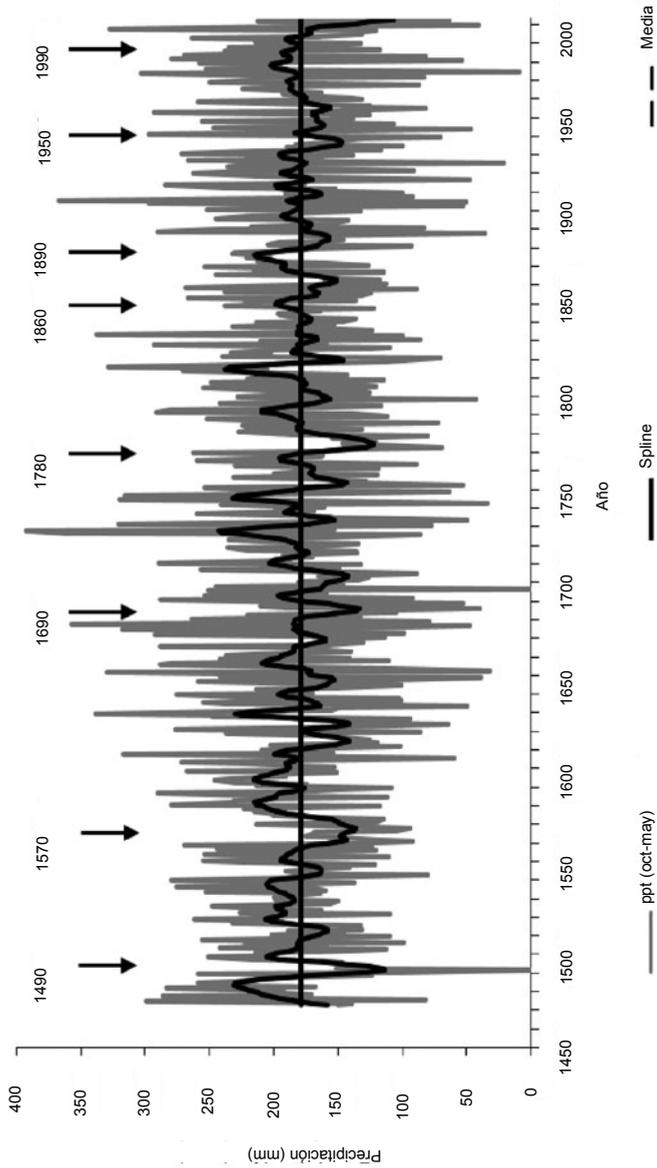
De manera similar, la reconstrucción correspondiente a la región que integra el área fronteriza de los estados de Durango, Chihuahua y Sinaloa, con la cronología EW de El Cócono indicó sequías continuas en más de 550 años (1450–2002) (Figura 5).

Probablemente dichas sequías se presentaron de manera simultánea en esta región del noroeste de México, con efectos más severos en algunos sitios que en otros debido a variaciones fisiográficas locales, aseveración que se fundamenta en la correlación de 0.61 ($p < 0.00001$) para el período común (1472–1999) de que ambas reconstrucciones.



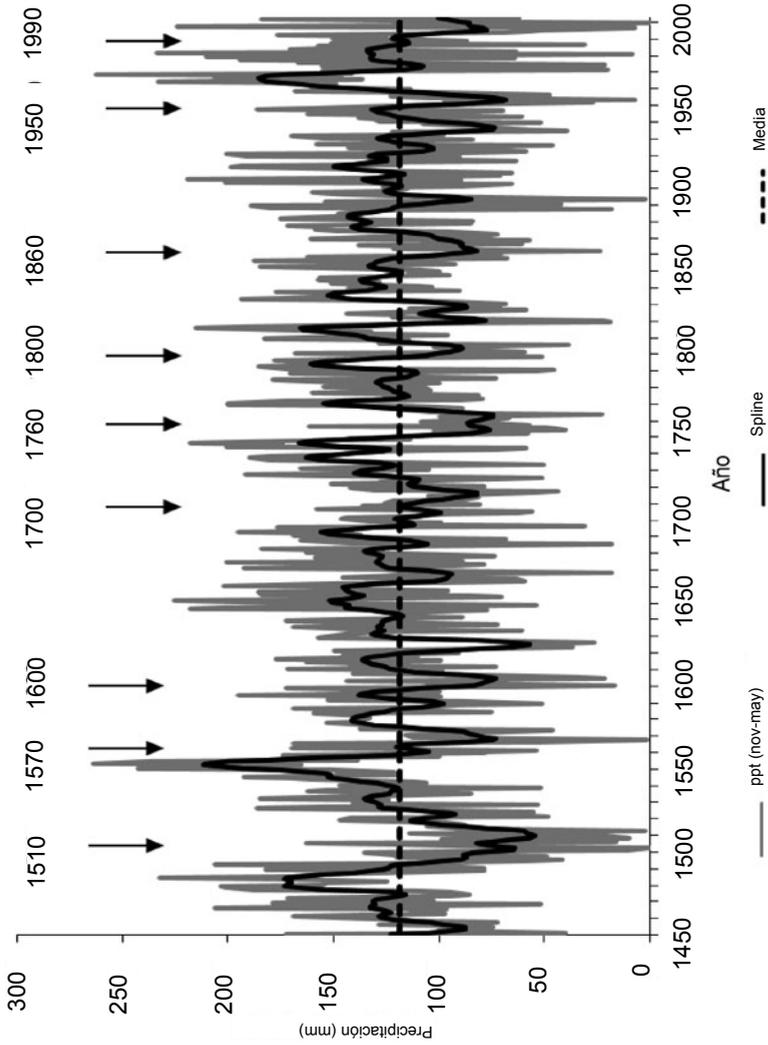
El periodo se dividió en dos subperiodos para dos corridas separadas de calibración (1941–1965 y verificación (1966–1990).

Figura 3. Comparación entre los datos observados de precipitación estacional (noviembre–mayo) y reconstruidos del periodo 1941–1990.



La línea gruesa es una curva decenal flexible (spline), que enfatiza eventos a nivel década (baja frecuencia)

Figura 4. Serie de la precipitación reconstruida invierno-primavera (octubre–mayo) con madera temprana en el período de 1472–2002 para la región que comprende el noroeste de Chihuahua y noreste de Sonora.



La línea gruesa es una curva decenal flexible (spline), que enfatiza eventos a nivel década (baja frecuencia).

Figura 5. Serie de la precipitación reconstruida invierno-primavera (noviembre–mayo) con madera temprana en el periodo de 1450–2002 para el área limítrofe de los estados de Durango, Chihuahua y Sinaloa.

La similitud entre reconstrucciones se incrementó para subperíodos de 50 años con correlaciones superiores a 0.5 después de 1550 hasta alcanzar valores superiores a 0.7 después de 1850 (Figura 6). Esta similitud se advierte con mayor claridad al ajustar una curva decenal flexible a las dos reconstrucciones, en la que muchos de los eventos de baja frecuencia, los períodos secos en particular, ocurrieron de manera simultánea en ambas regiones, como las sequías de las décadas de 1490, 1560, 1630, 1690, 1760, 1800, 1860, 1890, 1950 y 1990 (Figura 7).

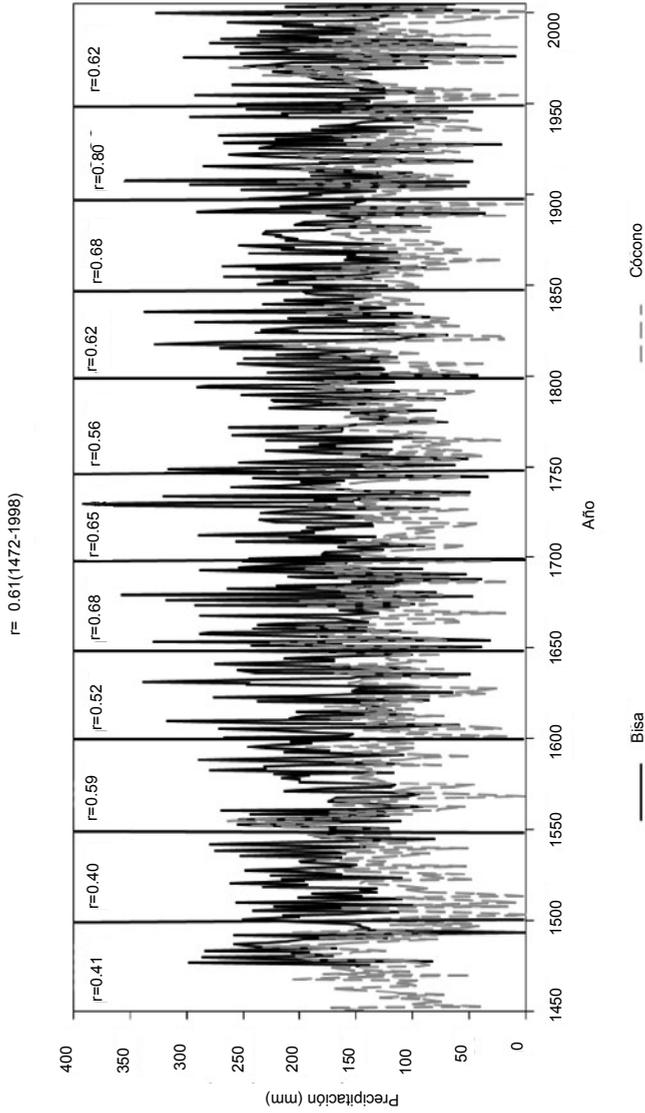
En la región de Chihuahua y Sonora, los 16 años comprendidos entre 1945 y 1960 han sido los más secos del siglo XX, pues en solo tres años (1947, 1952 y 1958) recibieron una cantidad de lluvia apenas mayor al promedio (143.2 mm). Los últimos 10 años de la reconstrucción (1993–2002), también fueron particularmente severos, a excepción de 1997 y 2001; en este aspecto esta reconstrucción coincide con la de la precipitación para el sur de Durango desarrollada por González *et al.* (2005), quienes confirmaron que este período fue el más seco de los últimos tres siglos.

No obstante lo anterior, en esta reconstrucción se detectaron sequías más intensas en el siglo XVIII para el período 1767–1778, en el que solo un año de un total de 12 superó la precipitación promedio (114.3 mm) para ese período especial.

Derivado de un estudio de archivos históricos para Chihuahua, Enfield y Fernández-Tejeda (2006) dieron a conocer que las sequías de las décadas de 1770 y 1780 aunadas a la presencia de heladas tempranas, afectaron gran parte del país y provocaron una de las mayores crisis agrarias en México. Fenómenos semejantes en este período también se reportan para la zona fronteriza de Sonora y Nuevo México (Villanueva y McPherson, 1999). Un caso similar está registrado para el intervalo de 1611 a 1626, cuando en solo tres años (1612, 1618 y 1620) se rebasó el promedio estacional de lluvia. Este lapso, aunque no está históricamente documentado, también aparece en otras reconstrucciones con anillos de árboles para Durango y noreste de México (Villanueva *et al.*, 2005a; 2005b).

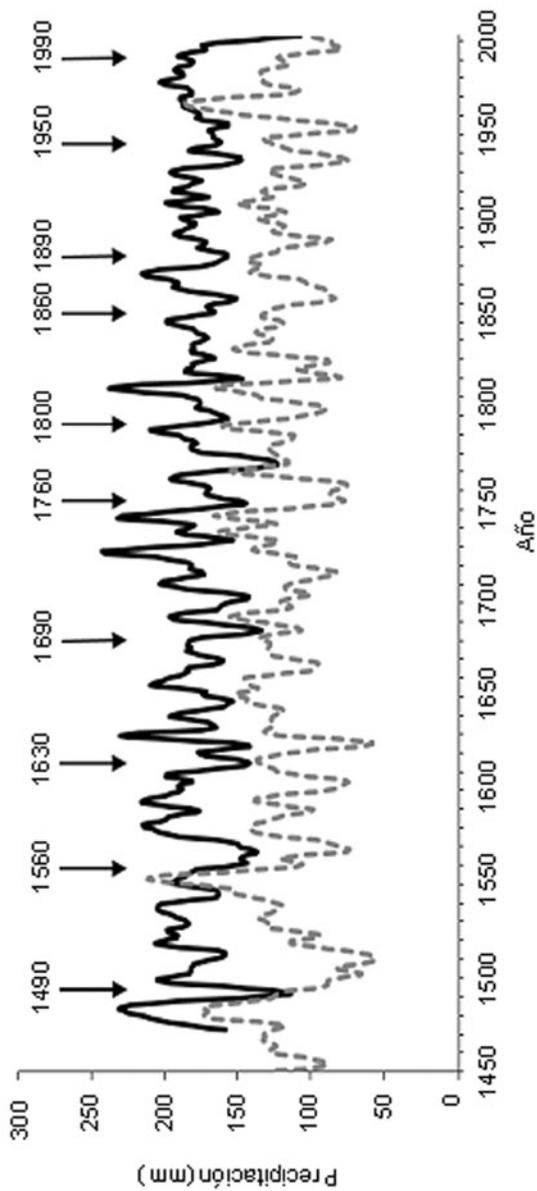
La etapa seca de 1552 a 1573 ha sido reportada por Cleaveland *et al.* (2003) como la más intensa de su reconstrucción para todo el estado de Durango, misma que se extendió hacia el norte a las regiones del noroeste y este de los Estados Unidos de América (Stahle *et al.*, 2000b; Fye *et al.*, 2003).

Dicha sequía sí aparece en esta reconstrucción, pero menos manifiesta. Además se verificó una sequía intensa en su porción temprana (1488–1496), lapso en el



La correlación para el periodo común de ambas reconstrucciones (1472–2002) indica una asociación significativa ($p < 0.0001$).

Figura 6. Grado de asociación entre las reconstrucciones de precipitación invierno-primavera para el barlovento de la SMO.



La curva flexible oscura continua corresponde a la reconstrucción para la región de Chihuahua y Sonora; la tenue y discontinua a la del área limítrofe entre los estados de Durango, Chihuahua y Sinaloa.

Figura 7. Curvas de decenales flexibles ajustadas a las reconstrucciones de precipitación para analizar la presencia de eventos de baja frecuencia comunes.

cual sólo se registró lluvia mayor a la media en 1489. Esta sequía pareciera ser artefacto de la reconstrucción; sin embargo, también se presenta en la de la zona limítrofe de Durango, Chihuahua y Sinaloa; por otra parte, una sequía de intensidad similar se observa para la reconstrucción de invierno en Durango (Cleaveland *et al.*, 2003), lo cual es indicativo de que fue verdadera y simultánea en varios estados del norte de México.

Para el caso de la reconstrucción de la zona limítrofe entre los estados de Durango, Chihuahua y Sinaloa, la sequía más prolongada se concentró en el período 1500–1517. Otros fenómenos de esta magnitud tuvieron lugar en los intervalos 1566–1573, 1599–1606, 1702–1705, 1702–1717, 1751–1768, 1785–1790, 1797–1805, 1859–1868, 1950–1957 y 1993 a 2000 (Figura 5, Cuadro 5). Muchas de estas sequías también están consignadas en documentos históricos para Chihuahua (Endfield y Fernández-Tejeda, 2006).

El efecto de la ausencia de lluvias tiene un fuerte impacto en las actividades socioeconómicas de una región, en especial en el norte de México, donde debido a las condiciones semiáridas que la caracterizan, la falta de agua repercute con mayor intensidad en la productividad agropecuaria y forestal, así como en el llenado de presas, cuya carga se destina a diversos fines productivos.

Las sequías más devastadoras fueron las que afectaron el centro y norte de México, en particular las que coincidieron con heladas (Endfield y Fernández-Tejeda, 2006). Los años secos de 1624, 1740, 1785, 1808, 1810 reportados por Florescano (1980) y que provocaron crisis agrícolas nacionales, en su mayoría están incluidos en estas reconstrucciones y en otras previamente desarrolladas para Chihuahua (Díaz *et al.*, 2002), lo cual es una forma independiente y documentada de verificar la validez de la misma. Para esta última entidad, la carencia de lluvia dentro del período 1817–1910 están documentadas en archivos históricos, específicamente para los años de 1886, 1887, 1893, 1896, 1908 y 1909, y estuvieron presentes en la reconstrucción, excepto 1896 cuando la reconstrucción indica precipitación superior (174.3 mm) a la media (143.2 mm).

No obstante que en este estudio se hace énfasis en la presencia de sequías debido a su efecto socioeconómico negativo, la reconstrucción también detectó períodos lluviosos, en los que la precipitación superó por mucho al promedio (cuadros 4 y 5), como sucedió en el período 1477–1486, igualmente registrado en la reconstrucción de Durango (Cleaveland *et al.*, 2003); el período húmedo de 1549 a 1558 reportado por Fye *et al.* (2003) para el oeste de Estados Unidos de América abarcó un área extensa que incluye el noroeste de México y en la reconstrucción de precipitación para el área limítrofe de Durango, Chihuahua

y Sinaloa este período húmedo comprendió 14 años (1543 a 1556), aunque probablemente no tuvo lugar en el suroeste de Arizona y suroeste de Nuevo México.

Por otra parte, el período húmedo de 1831 a 1856, reportado por Cleaveland *et al.* (2003) para Durango, también se advierte en esta reconstrucción y fue precedido por una sequía observada en la reconstrucción de Durango, Chihuahua y Sinaloa de 1826 a 1831. El período húmedo de 1807–1816, incluyó prácticamente todo el noroeste de México (Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; González, 2003).

Cuadro 4. Sequías y períodos húmedos consecutivos detectados en la reconstrucción de precipitación para la región de Chihuahua-Sonora.

Sequías consecutivas de 3 a 4, 5 a 9 y más de 10 años						
3 a 4 años			5 a 9 años		>10 años	
No.	Período	% del del promedio	Período	% de del promedio	Período	% del del promedio
1	1490-1492	46.4	1490-1494	59.8	1487-1496	79.3
2	1559-1561	65.8	1511-1515	83.2	1506-1515	89.4
3	1566-1568	60.5	1542-1546	85.9	1559-1568	74.9
4	1622-1624	67.2	1559-1563	75.7	1610-1619	83.7
5	1631-1633	66.0	1564-1568	74.1	1644-1653	86.5
6	1652-1654	61.6	1613-1617	75.6	1696-1705	78.4
7	1683-1685	55.5	1622-1626	67.2	1752-1761	84.8
8	1732-1734	66.4	1633-1637	83.4	1770-1779	73.3
9	1752-1754	60.8	1644-1648	75.0	1797-1806	89.6
10	1771-1773	61.5	1666-1670	78.9	1817-1826	86.1

continúa...

continuación Cuadro 4...

Sequías consecutivas de 3 a 4, 5 a 9 y más de 10 años

3 a 4 años		5 a 9 años			>10 años	
No.	Período	% del del promedio	Período	% de del promedio	Período	% del del promedio
11	1776-1778	68.9	1681-1685	72.7	1855-1864	89.2
12	1818-1820	52.3	1701-1705	73.2	1934-1943	86.8
13	1830-1832	67.1	1751-1775	76.4	1948-1957	89.7
14	1885-1887	69.6	1771-1775	66.6	1993-2002	83.6
15	1937-1939	64.4	1797-1801	84.5		
16	1954-1956	65.9	1817-1821	75.5		
17	1998-2000	63.8	1860-1864	78.0		
18			1883-1887	75.1		
19			1934-1938	79.7		
20			1953-1957	81.6		
21			1998-2002	69.0		

Períodos húmedos consecutivos 3 a 4, 5 a 9 y más de 10 años

3 a 4 años		5 a 9 años			>10 años	
No.	Período	% del del promedio	Período	% de del promedio	Período	% del del promedio
1	1483-1485	134.8	1477-1481	127.1	1477-1486	125.2
2	1580-1582	137.7	1483-1487	126.4	1516-1525	114.3
3	1592-1594	131.6	1497-1501	116.9	1531-1540	113.3
4	1627-1629	154.4	1516-1520	122.7	1549-1558	110.1

continuación Cuadro 4...

Períodos húmedos consecutivos 3 a 4, 5 a 9 y más de 10 años						
No.	3 a 4 años		5 a 9 años		>10 años	
	Período	% del promedio	Período	% del promedio	Período	% del promedio
5	1649-1651	136.6	1522-1526	117.1	1577-1586	116.4
6	1654-1656	140.0	1536-1540	123.0	1590-1599	115.5
7	1726-1728	168.9	1549-1553	115.5	1627-1636	111.9
8	1744-1746	159.2	1559-1553	115.5	1654-1663	111.5
9	1791-1793	141.1	1578-1582	120.6	1722-1731	121.4
10	1813-1815	149.7	1592-1596	123.4	1741-1750	114.7
11	1903-1905	132.8	1606-1610	121.2	1783-1792	110.9
12	1912-1914	130.1	1627-1631	135.2	1807-1816	121.3
13	1918-1920	132.7	1654-1658	123.3	1868-1877	114.9
14	1940-1942	134.7	1710-1714	115.8	1975-1984	112.5
15			1725-1729	131.8		
16			1743-1747	139.7		
17			1812-1816	141.0		
18			1848-1852	119.9		
19			1865-1869	115.2		
20			1873-1877	123.0		
21			1910-1914	116.4		
22			1926-1930	118.2		
23			1975-1979	128.0		
24			1983-1987	116.4		

Cuadro 5. Sequías y períodos húmedos consecutivos detectados en la reconstrucción de precipitación para el área limítrofe de los estados de Durango, Chihuahua y Sinaloa.

Sequías consecutivas de 3 a más de 10 años						
3 a 4 años			5 a 9 años		>10 años	
No.	Período	% del promedio	Período	% del promedio	Período	% del promedio
1	1457-1459	84.7	1451-1455	67.3	1506-1517	54.7
2	1462-1465	86.6	1566-1573	57.8	1750-1768	73.4
3	1473-1476	96.3	1622-1628	52.8	1859-1868	70.2
4	1500-1503	36.7	1712-1717	64.7	1950-1959	74.9
5	1521-1524	56.8	1797-1805	77.2		
6	1559-1561	58.8	1934-1939	57.9		
7	1587-1590	71.5	1993-2000	71.6		
8	1599-1602	57.4				
9	1604-1606	38.7				
10	1662-1664	53.9				
11	1666-1669	74.9				
12	1683-1685	68.8				
13	1696-1698	66.9				
14	1702-1705	69.5				
15	1847-1850	88.0				

continúa...

continuación Cuadro 5...

Sequías consecutivas de 3 a más de 10 años						
No.	3 a 4 años		5 a 9 años		>10 años	
	Período	% del promedio	Período	% del promedio	Período	% del promedio
16	1871-1873	68.6				
17	1892-1894	48.4				
18	1921-1923	66.8				
Períodos húmedos consecutivos de 3 a más de 10 años						
No.	3 a 4 años		5 a 9 años		>10 años	
	Período	% del promedio	Período	% del promedio	Período	% del promedio
1	1518-1520	115.5	1529-1533	119.0	1478-1486	143.0
2	1525-1527	135.8	1629-1636	114.0	1543-1556	151.0
3	1562-1565	127.8	1690-1695	137.0	1474-1486	114.2
4	1612-1614	117.6	1734-1741	107.2	1960-1970	145.3
5	1638-1640	120.3	1791-1796	143.0		
6	1650-1652	157.2	1812-1817	140.0		
7	1658-1661	131.6	1833-1837	138.0		
8	1680-1682	132.8	1842-1846	123.0		

continúa...

continuación Cuadro 5...

Períodos húmedos consecutivos de 3 a más de 10 años						
No.	3 a 4 años		5 a 9 años		>10 años	
	Período	% del promedio	Período	% del promedio	Período	% del promedio
9	1699-1701	118.4	1881-1886	126.0		
10	1706-1708	119.6	1910-1915	128.1		
11	1726-1729	131.9				
12	1744-1747	159.5				
13	1769-1771	160.4				
14	1851-1853	125.1				
15	1874-1876	133.7				
16	1895-1897	115.1				
17	1940-1942	111.3				
18	1946-1948	130.7				
19	1975-1977	135.3				

Teleconexión de la reconstrucción con los índices ENSO

La precipitación invernal en el norte de México y suroeste de los Estados Unidos de América está ligada estrechamente con índices de ENSO (Ropelewski y Harper, 1989; Stahle *et al.*, 1998; Magaña *et al.*, 1999). Esta relación se registra de manera clara y significativa en los anillos de crecimiento, en particular en la porción de madera temprana de especies arbóreas como *Pseudotsuga menziesii*, que se desarrolla en los macizos montañosos de las Sierra Madre Occidental en Chihuahua y Durango (Stahle *et al.*, 1998)). La frecuencia con que ENSO se ha presentado históricamente en el norte de México es en períodos de 4 a 6 años, donde los análisis espectrales (Jenkins y Watts, 1968) revelan una mayor concentración de la varianza (Stahle *et al.*, 1998; Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003).

La teleconexión extratropical de ENSO en el norte de México es importante, pero su intensidad y extensión varían a través del tiempo (Cleaveland *et al.*, 2003). Dicha aseveración se corrobora en esta reconstrucción de precipitación regional, al comparar la precipitación estacional reconstruida de octubre-mayo con los índices TRI para el período 1896–1995 y al seccionarlos en subperíodos de 20 años. De este modo, se encontró que dicha correlación fluctuó a través del tiempo, con correlaciones que tuvieron un intervalo de 0.28 hasta 0.69 para la zona de Chihuahua-Sonora y valores de 0.14 hasta 0.71 para la región limítrofe de los estados de Durango, Chihuahua y Sinaloa (figuras 8 y 9).

Fluctuaciones similares entre 0.27 y 0.78 han sido reportadas para los estados de Chihuahua y Durango, respectivamente (Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003). Lo anterior es indicativo de cambios multidecenales en la teleconexión de ENSO con la precipitación invierno-primavera que ocurre en esta región y que tiene una influencia significativa en la producción de madera temprana, que para algunas especies representa más del 70% de la producción total anual; por ende, su trascendencia económica es innegable en áreas de elevado aprovechamiento forestal, como los bosques templados de dichas entidades.

Este fenómeno también impacta favorablemente la producción de forraje, en una época en la que, por lo general, existe baja disponibilidad y está ligada con la frecuencia histórica de incendios que han repercutido en los ecosistemas forestales de la Sierra Madre Occidental (Fulé y Covington, 1996; Fulé *et al.*, 2005; Cerano, 2008; Drury y Veblen, 2008).

Al comparar uno de los períodos más secos de la reconstrucción del siglo XX, y que se ubica en el subperíodo 1955-1974, con el TRI se obtuvo una correlación

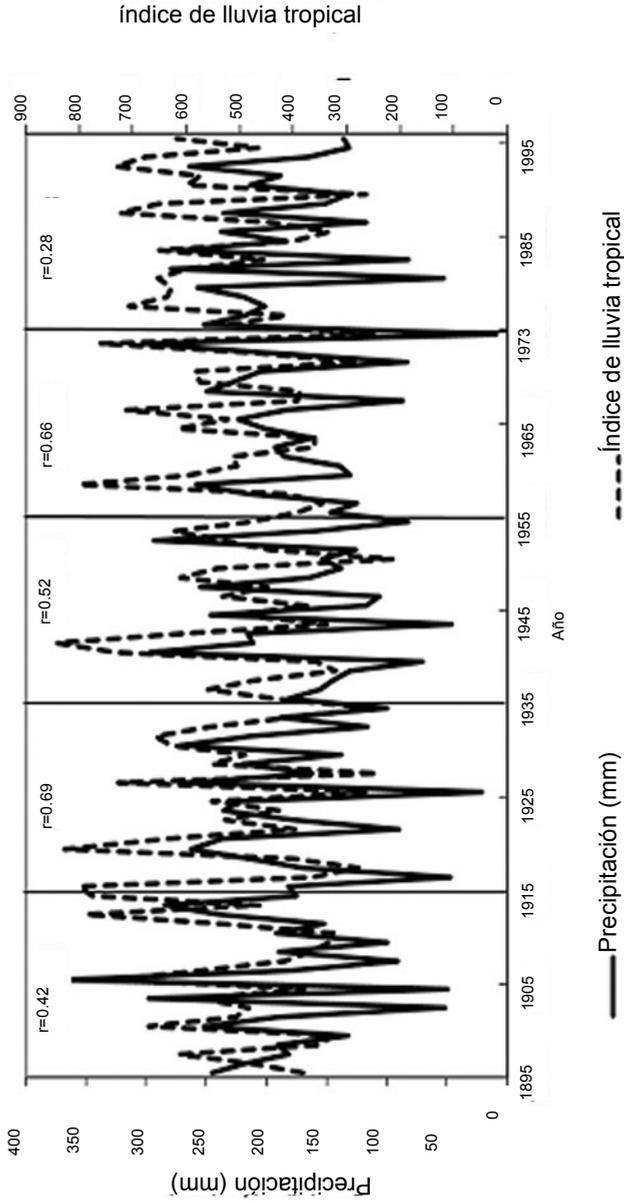


Figura 8. Correlación entre la precipitación reconstruida del período octubre-mayo para la región noroeste de Chihuahua y noreste de Sonora y el TRI, para el período 1896–1995 y dividido en subperíodos de 20 años.

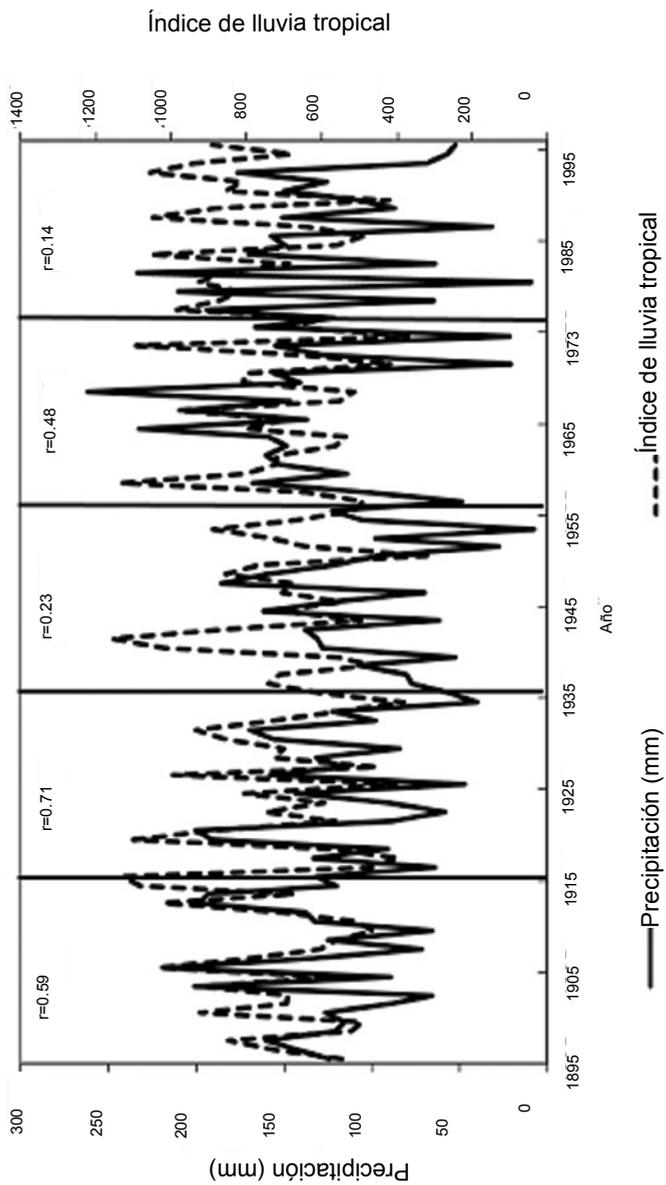


Figura 9. Correlación entre la precipitación reconstruida del período noviembre-mayo para el área limitrofe de Durango, Chihuahua y Sinaloa y el TRI, para el período 1896–1995 y dividido en subperíodos de 20 años.

de 0.66 y 0.48 ($p < 0.01$) para las dos reconstrucciones, respectivamente, lo que implica que el clima en esta región y en otras áreas del norte de México pudiera estar relacionado a una fuerte respuesta de ENSO; de esta manera, condiciones extremas aportadas por La Niña (fase fría), como las ocurridas en las décadas de 1850 y 1860 probablemente fueron la causa de sequías generalizadas, que en ciertos períodos tuvieron lugar al mismo tiempo en una extensa superficie de México e inclusive en otras regiones de Norteamérica (Herweijer *et al.*, 2006).

Otro caso particular es la mega sequía del siglo XVI que sufrió el Valle de México y gran parte de los Estados Unidos de América (Stahle *et al.*, 2000b; Therrell *et al.*, 2006). La misma situación se presentó con la influencia de la fase cálida de ENSO (El Niño), que en años particulares 1958, 1964, 1981, 1987 y 1992 provocaron intensa lluvia invernal en el norte de México, con implicaciones benéficas en la producción forestal, incremento en la recarga de acuíferos, agua almacenada en las presas, entre otras repercusiones a los ecosistemas.

CONCLUSIONES

El crecimiento de la madera temprana de especies forestales en ecosistemas de bosque mixto, como *Pseudotsuga menziesii* en la SMO explicó hasta 64% de la variabilidad en la precipitación que se genera en la vertiente occidental de dicha cordillera.

Desde el punto de vista económico, la precipitación más importante en esta región es la de verano, que representa más del 70% del total anual; la función de respuesta entre madera tardía y precipitación de verano no fue significativa ($p > 0.05$), lo cual limita una reconstrucción para este período. La falta de asociación se puede atribuir a que el crecimiento anual de esta especie ya ha cesado cuando se presenta el período lluvioso. La porción correspondiente a la madera tardía no representa más del 30% del total anual.

Las reconstrucciones de precipitación invierno-primavera para la región del noroeste de Chihuahua y noreste de Sonora y del área limítrofe entre Durango, Chihuahua y Sinaloa son las primeras que se desarrollan en donde se tiene una gran dependencia del agua producida en las cuencas que drenan hacia la planicie costera del Pacífico y que se destina a cultivos.

La variabilidad hidroclimática detectada a lo largo de 531 y 553 años de estas reconstrucciones, muestran eventos secos que afectaron a esta región con una intensidad y duración igual o superior a las sequías experimentadas en el siglo XX,

pero ninguna es comparable con la mega sequía del siglo XVI que afectó el centro, el norte de México y otras regiones de Norteamérica.

Estos fenómenos quizás se deban a la continua teleconexión de ENSO en su fase fría (La Niña). Los eventos cálidos ENSO (El Niño) en el norte de México originan lluvias copiosas en la estación invierno-primavera, como lo indica la reconstrucción de precipitación en esta región que, por lo general, supera al promedio en años con El Niño.

La generación de cronologías climáticamente sensitivas en las Sierras Madre Occidental, Oriental y otras montañas del centro y sur de México pueden ayudar a reconstruir y a entender la variabilidad hidroclimática en el último milenio, y por lo tanto, constituyen una fuente de información inigualable para analizar las condiciones dominantes durante el establecimiento, florecimiento y decadencia de civilizaciones prehispánicas. Además, son fundamentales para analizar el impacto de patrones circulatorios como ENSO, NAMS, Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) que impactan grandes regiones de manera simultánea. Esta información es esencial para la planeación de los recursos hídricos con así como para la conservación de ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento otorgado a través de fondos del Instituto Interamericano para Investigación del Cambio Climático (IAI), proyecto CRN # 2047, a su vez financiado por el US/Nacional Science Foundation (Grant GEO-0452325).

REFERENCIAS

- Cerano P., J. 2008. Variabilidad climática regímenes de incendios e influencia de patrones circulatorios para el suroeste de Chihuahua. Tesis de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas. Universidad Autónoma de Chapingo, Universidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Dgo. México. 118 p.
- Cleaveland, M. K. 1986. Climatic response of densitometric properties in semiarid site tree rings. *Tree-Ring Bulletin* 46: 13 – 29.
- Cleaveland, M. K. 1988. Corrigendum to climate response of densitometric properties in semiarid site tree rings. *Tree-Ring Bulletin* 48: 41 – 47.
- Cleaveland, M. K., D. W. Stahle, M. D. Therrell, J. Villanueva-Díaz and B. T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369 – 388.

- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47: 37 – 59.
- Cook, E. R. and K. Peters. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45 – 53.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2007. Estadísticas del agua en México. Edición 2007. México, D. F. México. 259 p.
- Díaz C., S., M. D. Therrell, D. W. Stahle and M. K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992. *Climate Research* 22: 237 – 244.
- Drury, S. A. and T. T. Veblen. 2008. Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Eco-logy* 197: 299 – 316.
- Enfield, G. H. and I. Fernández-Tejeda. 2006. Decades of drought, years of hunger: archival investigations of multiple year droughts in late colonial Chihuahua. *Climatic Change* 75: 391 – 419.
- Florescano, E. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México, D. F. México. 121 p.
- Fritts, H. C. 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. University of Arizona Press. Tucson, Arizona. USA. 286 p.
- Fulé, P. Z. and W. W. Covington. 1996. Changing fire regimes in Mexican pine forests: ecological and management implications. *Journal of Forestry* 94: 33 – 38.
- Fulé, P. Z., J. Villanueva-Díaz and M. Ramos-Gómez. 2005. Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, Mexico. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 320 – 330.
- Fye, F. K., D. W. Stahle and E. R. Cook. 2003. Paleoclimatic analogs to twentieth-century moisture regimes across the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 84 (7): 901 – 909.
- González-Elizondo, M. 2003. Indicadores de cambio climático en algunas especies de pináceas de la Sierra Madre Occidental. Tesis Doctoral en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Subdirección de Postgrado. Linares, N. L. México. 192 p.
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Navar, M. S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre and J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: A 1681 – 2001 rain reconstruction. *Forest Ecology and Management* 213: 39 – 53.

- González E., M. S., M. González E. y M. A. Márquez L. 2007. Vegetación y ecorregiones de Durango. Plaza y Valdés, S. A. de C. V. México, D. F. México. 219 p.
- Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205 – 221.
- Herweijer, C., R. Seager and E. R. Cook. 2006. American droughts of the mid to late nineteenth century: a history, simulation and implication for mediaeval drought. *Holocene* 16(2): 159 – 171.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69 – 78.
- Hulme, M., T. J. Osborn and T. C. Johns. 1998. Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observations with HadCM2 simulation. *Geophysical Research Letters* 25: 3379 – 3382.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1999a. Estudio hidrológico del estado de Chihuahua. Aguascalientes, Ags. México. 222 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1999b. Carta Geológica Tecoripa H12-12, Escala 1:250,000. Dirección General de Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2003. Síntesis de información geográfica del estado de Chihuahua. Aguascalientes, Ags. México. 145 p.
- Jenkins, G. M. y D. G. Watts. 1968. Spectral analysis and its applications. Holden-Day, San Francisco, CA. USA. 525 p.
- Lammertink, J. M., J. A. Rojas-Tomé, F. Orona-Casillas and R. L. Otto. 1996. Status and conservation of old-growth forests and endemic birds in the pine-oak zone of the Sierra Madre occidental, Mexico. Institute for Systematics and Population Biology (Zoological Museum), University of Amsterdam. Amsterdam. The Netherlands. 103 p.
- Magaña, V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrizosa E. y J. Pérez. 1999. El Niño y el clima. *In*: V. Magaña (Ed.). Los impactos de El Niño en México. SEP - CONACYT. Mexico, D. F. México. pp. 23 – 68.
- Monterrubio-Rico, T. and E. Enkerlin-Hoeflich. 2004. Present use and characteristics of thick-billed parrot nest sites in northwestern Mexico. *Journal of Field Ornithology* 75: 96 – 103.
- Ropelewski, C. F. and M. S. Halpert. 1989. North American precipitation and temperature patterns associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Monthly Weather Review* 114: 2352 – 2362.
- Stahle, D. W., R. D. D'Arrigo, P. J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. B. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Guy, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, J. Villanueva-Díaz and L. G. Thompson. 1998. Experimental

- dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 70(10): 2137 – 2152.
- Stahle, D. W., J. Villanueva, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, G. J. Paull, B. T. Burns, W. Salinas, H. Suzan and P. Z. Fulé. 2000a. Recent tree-ring research in Mexico. *In: F. A. Roig (Comp.) Dendrocronología en América Latina*. EDIUNC. Mendoza, Argentina. pp. 285 – 306.
- Stahle, D. W., E. R. Cook, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, D. M. Meko, H. D. Grissino-Mayer, E. Watson and B. H. Luckman. 2000b. Tree-ring data document 16th century megadrought over North America. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 81(12): 121 – 125.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw Hill Co. New York, NY. USA. 633 p.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois. USA. 73 p.
- Stratus Consulting Incorporation- UNAM- Colegio de Sonora. 2004. Adaptación al cambio climático: Hermosillo, Sonora, un caso de estudio. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-United States Environmental Protection Agency. México, D. F. México. 66 p.
- Therrell, M. D., D. W. Stahle, J. Villanueva-Díaz, E. Cornejo-Oviedo and M. K. Cleaveland. 2006. Tree-ring reconstructed maize yield in central Mexico: 1474-2001. *Climatic Change* 74: 493 – 504.
- Villanueva D, J. and G. R. McPherson. 1999. Estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del Norte de México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 24(86): 37 – 64.
- Villanueva-Díaz, J., B. H. Luckman, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, J. Cerano-Paredes, G. Gutiérrez-García, J. Estrada-Ávalos and R. Ja-sso-Ibarra. 2005a. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera. *Dendrocronologia* 22(3): 215 – 223.
- Villanueva D, J., J. Cerano, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland and B. H. Luckman. 2005b. Estudios paleoclimáticos en México utilizando anillos de crecimiento de especies arbóreas. *In: Benavides S., J. de D., F. Becerra L., T. Hernández T., C. González S. y G. Flores G. (Ed.) Contribución al estudio de los servicios ambientales. Libro Técnico No. 1. INIFAP/CIRPAC. Guadalajara, Jal. México. pp. 7-32.*
- Wright, P. B. 1979. Persistence of rainfall anomalies in the Central Pacific. *Nature* 277: 371 – 374.

RIQUEZA DE MACROMICETOS DEL PARQUE NACIONAL BARRANCA DEL CUPATITZIO, MICHOACÁN, MÉXICO

Gilberto Chávez-León¹, Víctor Manuel Gómez-Reyes²
y Marlene Gómez-Peralta²

RESUMEN

Para sustentar con información reciente el programa de conservación y manejo del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México, se actualizaron y verificaron los inventarios biológicos disponibles, y se incluyeron además a los macromicetos. Con base en lo anterior se obtuvo una lista que aporta información sobre su presencia, distribución y situación de riesgo; así mismo, se determinaron las especies prioritarias para su conservación. Las recolectas se hicieron una vez por semana durante las temporadas de lluvias de 2003 y 2004 en ocho parcelas permanentes de muestreo. Se registraron 10 Ascomicetos pertenecientes a siete géneros y seis familias; 73 Basidiomicetos distribuidos en 43 géneros y 27 familias. Del total de 83 taxa identificados, 52 fueron ectomicorrizógenos, 37 comestibles, 22 tóxicos y dos en la categoría de riesgo, considerada como amenazada. Las familias mejor representadas fueron Russulaceae, con dos géneros y 10 especies, Tricholomataceae, con seis géneros y nueve especies, Amanitaceae, con un género y ocho especies, y Boletaceae, con tres géneros y siete especies. *Russula emetica*, *R. foetens*, *R. cyanoxanta*, *Amanita virosa*, *Laccaria laccata*, *Suillus granulatus* y *S. cothurnatus* resultaron ser las más frecuentes. Por último, al aplicar criterios de riesgo como el hábito ectomicorrízico y el uso comestible, se identificaron 19 macromicetos prioritarios para su conservación en el parque.

Palabras clave: *Amanita virosa*, esporoma, hongo ectomicorrizógeno, *Laccaria laccata*, *Russula emetica*, *Suillus granulatus*.

Fecha de recepción: 18 de septiembre de 2007.

Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2009.

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

² Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ABSTRACT

In order to support with current information the conservation and management program for Barranca del Cupatitzio National Park, Michoacan, Mexico, all available biological inventories were updated and verified, including macromycetes. To achieve this goal field work was carried out thus obtaining an up to date species list with data about their presence, distribution and conservation status. Priority species for conservation were identified. Fungi were collected weekly during the rainy seasons of 2003 and 2004 in eight permanent sampling plots. Ten species of Ascomycetes that belong to seven genera and six families were registered as well as 73 species of Basidiomycetes that belong to 43 genera and 27 families. 52 species were ectomycorrhizal fungi, from which 37 are edible, 22 toxic and two endangered. The best represented families were Russulaceae, with two genera and ten species, Tricholomataceae, with six genera and nine species, Amanitaceae, with one genus and eight species, and Boletaceae with three genera and seven species. *Russula emetica*, *R. foetens*, *R. cyanoxanta*, *Amanita virosa*, *Laccaria laccata*, *Suillus granulatus* and *S. cothurnatus* were the most frequent species. Finally, after following the criteria of conservation status, 19 macrofungi with conservation priority in the park were identified.

Key words: *Amanita virosa*, *sporome*, *ectomycorrhizal* fungi, *Laccaria laccata*, *Russula emetica*, *Suillus granulatus*.

INTRODUCCIÓN

Un componente importante de la diversidad biológica de los ecosistemas forestales son los macromicetos, que desempeñan una importante función ecológica por la forma de obtener sus nutrimentos. Están formados por hifas ramificadas, que se reúnen en cordones miceliales y cuerpos de reproducción (ascomas o basidiomas) visibles y medibles en centímetros (Carrillo, 2003). Organismos saprobios que absorben la materia orgánica muerta de los sustratos donde crecen, o son parásitos de árboles, o bien se asocian sus hifas con las raíces de los árboles (micorriza) con diversas especies vegetales; los hay comestibles y venenosos. Los hongos saprobios y los simbioses contribuyen al reciclaje de la materia orgánica; los patógenos, pueden modificar la composición y estructura de una comunidad vegetal.

El aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles, como las trufas (*Tuber* spp.), los matsutakes (*Tricholoma* spp.) y los boletos (*Boletus* spp.), entre otros, genera una gran derrama económica internacional (Boa, 2005). No obstante, el uso no planificado del recurso natural, como en el caso de la "trompa de

puerco" (*Hypomyces lactifluorum* (Schwein.) Tul. & C. Tul.) en algunas localidades del Eje Neovolcánico, implica su sobreexplotación (Mapes *et al.*, 1981; Díaz-Barriga, 1996).

Aunque los macromicetos constituyen uno de los grupos taxonómicos en extremo diversos (Schmit y Mueller, 2007), el conocimiento que se tiene sobre su riqueza y diversidad a nivel local, es muy escaso. Se estima que en México existen entre 140,000 y 200,000 taxa de hongos (Guzmán, 1996; 1998); mientras que en el mundo su número supera el 1,500,000 (Hawksworth, 2001). Aproximadamente 10% de ellos son macromicetos y el resto micromicetos (Mueller *et al.*, 2007). La conservación de esta biodiversidad es relevante, ante la actual tendencia mundial hacia su pérdida. Una de las estrategias que se han utilizado para lograrlo, incluyendo la micetobiota, es el establecimiento de áreas naturales protegidas, tales como parques nacionales, reservas de la biósfera o áreas de protección de flora y fauna.

A fin de manejar en forma efectiva las áreas naturales protegidas, es necesario realizar inventarios específicos que identifiquen los taxa y su distribución; además de que contribuyan al conocimiento de la historia natural de las especies registradas (Janzen, 1997).

En el Eje Volcánico Transmexicano se localizan la mayoría de los parques nacionales decretados en México durante las décadas de 1930 y 1940, cuya finalidad fue la de proteger las cuencas hidrológicas de las principales ciudades y montañas que ahí se ubican (Vargas, 1997) y en donde también se concentra una de las más altas densidades de población humana del país (INEGI, 2006).

Entre esos antiguos parques nacionales está el denominado "Barranca del Cupatitzio", caracterizado por situarse parcialmente dentro de la ciudad de Uruapan, en el estado de Michoacán. No obstante su cercanía con una zona urbana, la riqueza fúngica es poco conocida y los estudios micológicos son escasos. La información documentada comprende una relación de 35 hongos ectomicorrizógenos correspondientes a 13 familias, relacionadas con las coníferas de la Meseta Purépecha y recolectadas en un sitio de muestreo, en el que la abundancia fue pobre en presencia de suelos arcillosos y con poca materia orgánica. Una investigación adicional se refiere a la evaluación de la producción natural de *Russula brevipes* Peck en una plantación de *Pinus pseudostrabus* Lindl. (Sánchez, 1980; 1982).

Ante la necesidad de sustentar con datos recientes el programa de conservación y manejo (PCyM) del área natural protegida, se revisaron y verificaron los

inventarios biológicos existentes, incluso el de macromicetos. Los listados generados se incorporaron al PCyM.

El presente estudio tuvo como objetivos contribuir al conocimiento de la riqueza de los hongos macroscópicos del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”; elaborar una lista actualizada de los mismos para ingresar al PCyM y aportar información básica sobre su presencia, abundancia, distribución, situación de riesgo y determinar especies prioritarias para su conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Localización y superficie.- El Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” se localiza en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano y en la subprovincia Neovolcánica Tarasca, al centro-occidente del estado de Michoacán, sus coordenadas geográficas son: 19° 25' 11" - 19° 26' 24" N y 102° 07' 40" - 102° 04' 20" W. Se ubica en el límite de los municipios de Uruapan y Nuevo Parangaricutiro, con una extensión de 458.21 ha (Figura 1) y conformado por dos polígonos separados un kilómetro entre sí. El más extenso, conocido como Área de Montaña, tiene una superficie de 438.55 ha, constituido por un cono y un domo volcánicos de pendiente suave, cañadas, zonas planas y derrames de lava (Gómez-Tagle, 1985). El pequeño, llamado Área de Río con 19.66 ha, está inmerso en la zona urbana de Uruapan y su topografía es de barranca y zonas planas. En la parte baja del parque (1,640 msnm) se localiza la barranca donde nace el río Cupatitzio; los puntos de mayor altitud son el Cerro Chiquito (2,136 msnm) y la Loma Larga (2,057 msnm), ambos en el Área de Montaña.

Clima.- De acuerdo con el sistema de clasificación de tipos de clima de Köppen, modificado por García (1981), el área corresponde al clima templado semicálido húmedo, con abundantes lluvias en verano. Los datos registrados en el período de 1978 a 2005 en la estación climatológica del parque (19° 25' 46.5" N y 102° 05' 34.3" W), situada a 1,756 msnm, indican una temperatura media anual de 16.6°C, con una máxima media anual de 23.9°C y la mínima media anual de 9.3°C; la precipitación media anual es de 1,537.4 mm.

Suelos.- Con base en la Carta Estatal de Suelos 1:500,000 del INEGI (1985), en la región predominan los de tipo Andosol, con textura media. También existen Litosoles y Regosoles de textura gruesa. Gómez-Tagle (1985) identificó dos unidades en el Área de Montaña; la primera corresponde a la Andosol, subunidad vítrico, serie Cupatitzio, tipos arena migajosa, arena y migajón arenoso, con fases

superficiales media y profunda. La segunda es un Litosol, subunidad dística, serie El Jabalí, tipo gravoso, fino discontinuo y fase orgánica.

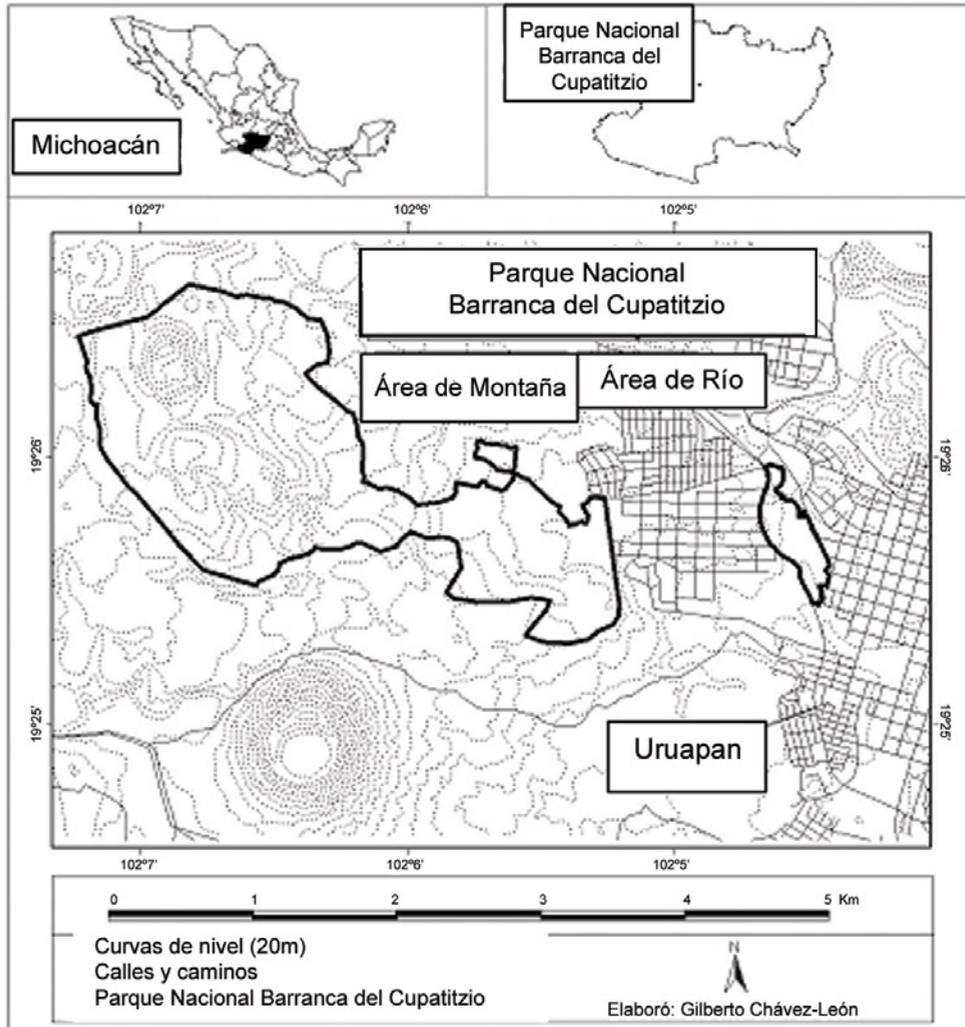


Figura 1. Localización del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México.

Los suelos del Área de Río no han sido descritos, pero a partir del trabajo de Gómez-Tagle (1985) se puede hacer una caracterización preliminar. En su mayor parte son del tipo Litosol-Regosol dístrico y éurico en la zona noroeste; al sur-sureste se distribuye el Andosol ótrico y húmico con textura media; así como suelo secundario del tipo Regosol éutrico de textura media a fina, que ocupa 60% del área, con profundidad superior a 1 m y constituido por numerosas capas de espesor variable, textura de migajón arenoso, arena migajosa y grava fina discontinua.

Vegetación.- En el parque predomina el bosque de coníferas con dosel cerrado (Rzedowski, 1978) integrado por *Pinus-Quercus*, *Pinus* y relictos de bosque mesófilo de montaña (Bello y Madrigal, 1996). Los árboles dominantes tienen alturas de hasta 30 m y comprenden a *Pinus michoacana* Martínez, *P. douglasiana* Martínez y *P. lawsonii* Roehl ex Gordon; latifoliadas como: *Quercus obtusata* Bonpl., *Q. castanea* Née y *Q. magnoliifolia* Née (Bello y Madrigal, 1996). En el estrato arbóreo inferior, de 10 a 20 m, sobresalen *Alnus jorullensis* Kunth, *Arbutus xalapensis* Kunth y *Clethra mexicana* DC. El estrato arbustivo, de 2 a 5 m, se compone por *Ceanothus coeruleus* Lag., *Lobelia laxiflora* Kunth, *Lupinus mexicanus* Cerv. ex Lag. y *Salvia mexicana* L. El herbáceo está constituido, principalmente, por *Adiantum andicola* Liebm., *Asclepias glaucescens* Kunth, *Phaseolus coccineus* L. y *Sigesbeckia jorullensis* Kunth, entre otros taxa.

Los elementos del bosque mesófilo de montaña se distribuyen en barrancas, con árboles de 15 m de altura promedio; aunque hay pinos dispersos que alcanzan hasta 30 m. Algunas de las especies más comunes que se observan son: *Alnus jorullensis*, *Bocconia arborea* Wats., *Carpinus caroliniana* Walt., *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. y *Oreopanax salvinii* Hemsl. (Bello y Madrigal, 1996).

Trabajo de campo

En el Área de Montaña se estableció una parcela permanente de muestreo de 1,000 m² (20 m x 50 m) en cada una de las ocho unidades ambientales identificadas y descritas por Gómez-Reyes (2005), que presentaban condiciones homogéneas de suelo (andosol o litosol), altitud (<1800, >1800, <2000 y >2000 m) y vegetación (pino o pino-encino). El Área de Río no se consideró en el estudio por la continua presencia y actividad de visitantes (750,000 al año), por lo que sólo se hicieron observaciones y recolecta de ejemplares fúngicos.

El trabajo se realizó durante los meses de junio a noviembre de los años 2003 y 2004. El muestreo consistió en recolectar esporomas en las parcelas de cada unidad ambiental, los cuales fueron descritos, fotografiados y secados

(Cifuentes *et al.*, 1986); los datos en fresco, como color, tamaño, forma, consistencia, textura, olor y sabor se anotaron en etiquetas, para usarlos en la determinación taxonómica.

Trabajo de laboratorio

De cada ejemplar recolectado, se midieron las características microscópicas (Largent *et al.*, 1984) y para su identificación se consultaron los trabajos de Arora (1986), Jenkins (1986), Singer *et al.* (1990, 1991 y 1992), Hesler y Smith (1979), Halling (1983), Dennis (1978), entre otros. El material se depositó en la Colección Micológica del Herbario de la Facultad de Biología (EBUM) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán (permisos de recolecta científica SGPA/DGVS/7122 del 23 de septiembre de 2003 y SGPA/DGVS/12430 del 19 de noviembre de 2004).

La abundancia se obtuvo del peso en fresco de cada especie (g / sp.), y se utilizaron las categorías propuestas por Hering, citado por Villareal (1994), respecto a las especies fúngicas dominantes o “major species”, en relación con la biomasa total (Cuadro 1). Así mismo, se determinó el índice de similitud de Jaccard (Krebs, 1989) entre las distintas unidades ambientales.

Cuadro 1. Clasificación de especies dominantes.

Categoría	Intervalo
I. Abundantes	> 5% de la biomasa
II. Frecuentes	> 2% pero < 5% de la biomasa
III. Ocasionales	> 1% pero < 2% de la biomasa
IV. Esporádicas	> 0.05 % pero < 1 % de la biomasa
V. Raras	< 0.05% de la biomasa

Fuente: Hering, citado por Villareal (1994).

La clasificación sistemática que se siguió es la propuesta por Hawksworth *et al.* (1996); en cuanto a los nombres científicos válidos y los autores, se consultó el *Index Fungorum* (CABI Bioscience *et al.*, 2008). Para determinar la comestibilidad de las especies se consultaron obras micológicas estatales (Mapes *et al.*, 1981; Díaz-Barriga, 1996; 2002); regionales (Villareal y Pérez-Moreno, 1989) y a nivel

mundial, la obra de Boa (2004), debido a que hasta la fecha no se cuenta con un trabajo que indique los macromicetos que se consumen localmente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron 33 muestreos en los que se registraron 83 taxa pertenecientes a los *phyla* Ascomycota y Basidiomycota (Cuadro 2). Al primero corresponden seis familias, siete géneros y 10 especies. Al segundo, 27 familias, 43 géneros y 73 especies. Del total de hongos identificados, 52 son ectomicorrizógenos, 37 comestibles, 22 tóxicos y dos se consideran como amenazados en la Norma Oficial Mexicana 059 SEMARNAT-2001 (SEMARNAT, 2002).

Cuadro 2. Listado general de macromicetos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México, ordenado conforme al sistema de clasificación de Hawksworth *et al.* (1996).

Nombre científico	Nombre común	NOM-059 ¹	ECM ²	COM ³	TOX ⁴
Phyllum Ascomycota					
Familia Hypocreaceae					
<i>Hypomyces lactifluorum</i> (Schwein.:Fr.) Tul.	Trompa de puerco			*	
Familia Leotiaceae					
<i>Leotia lubrica</i> Pers.: Fr.			*		
Familia Helvellaceae					
<i>Helvella crispa</i> Scop.: Fr.			*	*	
<i>Helvella elastica</i> Bull.: Fr.			*	*	
<i>Helvella lacunosa</i> Afzel.:Fr.	Oreja de ratón		*	*	
<i>Helvella macropus</i> (Pers.:Fr.) P. Krst.			*	*	
Familia Morchellaceae					
<i>Morchella esculenta</i> Fr.	Mazorquillo	A	*	*	
Familia Otideaceae					
<i>Humaria hemisphaerica</i> (Wigg.:Fr.) Fuckel					

continúa...

continuación Cuadro 2...

Nombre científico	Nombre común	NOM-059 ¹	ECM ²	COM ³	TOX ⁴
<i>Scutellina scutellata</i> (L. ex saint-Amans) Lamb. Familia Xilariaceae <i>Xylaria hypoxylon</i> (L. ex Fr.) Grev. Phyllum Basidiomycota Familia Agaricaceae <i>Agaricus augustus</i> Fr.	Hongo de gavilán	A		*	
<i>Chlorophyllum molybdites</i> (J.A. Meyer) Massee <i>Lepiota clypeolaria</i> (Bull.:Fr.) Kumm. <i>Macrolepiota procera</i> (Scop.:Fr.) Singer Familia Amanitaceae <i>Amanita caesarea</i> (Scop.:Fr.) Pers. <i>Amanita chlorinosma</i> Peck <i>Amanita flavoconia</i> Atk. <i>Amanita fulva</i> Schaeff.: Pers. <i>Amanita gemmata</i> (Fr.) Gill. <i>Amanita muscaria</i> (L.:Fr.) Hook. <i>Amanita vaginata</i> Bull.:Fr.) Vitt. <i>Amanita virosa</i> Lamarck ex Secr. Familia Coprinaceae <i>Coprinus comatus</i> (Müller ex Fr.) S.F. Gray	Falso champiñón				*
				*	
			*	*	
			*		*
			*	*	
			*		*
	Hongo de venado		*	*	
	Ángel de la muerte		*		*
				*	*

¹ NOM-059-SEMARNAT-2001: A = amenazada; ² Ectomicorrílica; ³ Comestible; ⁴ Tóxica.

continúa...

continuación Cuadro 2...

Nombre científico	Nombre común	NOM-059 ¹	ECM ²	COM ³	TOX ⁴
Familia Hygrophoraceae					
<i>Hygrocybe mexicana</i> Singer		*			
<i>Hygrocybe conica</i> (Scop.: Fr.) P. Kumm.			*		*
Familia Strophariaceae					
<i>Naematoloma fasciculare</i> (Huds.: Fr.) P. Karst.			*		
Familia Tricholomataceae					
<i>Armillariella mellea</i> (Vahl.:Fr.) P. Karst.		*			
<i>Collybia dryophilla</i> Bull.:Fr.) Kumm.	*				
Familia Tricholomataceae					
<i>Laccaria amethystina</i> (Bolt. : Hook.) Murr.			*	*	
<i>Laccaria bicolor</i> (Maire) Orton.			*	*	
<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke	Moradito		*	*	
<i>Laccaria proxima</i> (Boudier) Patouillard	Hongo de lima		*	*	
<i>Marasmius spgazzinii</i> Sacc.& Syd.					
<i>Oudemansiella canarii</i> (Jungh.) Hohn.					
<i>Tricholoma sejunctum</i> (Sowerby ex Fr.) Quélet			*		
Familia Boletaceae					
<i>Boletus griseus</i> Frost in Peck			*		
<i>Boletus pinophilus</i> Pilát & Dermek			*	*	
<i>Leccinum rugocipes</i> (Peck) Singer			*	*	

¹ NOM-059-SEMARNAT-2001: A = amenazada; ² Ectomicorrífica; ³ Comestible; ⁴ Tóxica.

continúa...

continuación Cuadro 2...

Nombre científico	Nombre común	NOM-059 ¹	ECM ²	COM ³	TOX ⁴
<i>Suillus cothurnatus</i> Singer			*	*	
<i>Suillus tormentosus</i> (Kauffman) Singer			*	*	
<i>Suillus brevipes</i> (Peck) Kuntze			*	*	
<i>Suillus granulatus</i> (L. : Fr.) Kuntze	Pancita		*	*	
Familia Gomphidiaceae					
<i>Chroogomphus rutilus</i> Fr.			*	*	
Familia Hygrophoropsidaceae					
<i>Hygrophoropsis auriantica</i> (Wulf.: Fr.) Maire				*	
Familia Strobilomycetaceae					
<i>Strobilomyces confusus</i> Singer			*	*	
Familia Cantharellaceae					
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.	Duraznillo		*	*	
Familia Clavariaceae					
<i>Clavaria vermicularis</i> Fr.					
Familia Clavulinaceae					
<i>Clavulina cristata</i> (Fr.) Schroet.					
Familia Hydneaceae					
<i>Dentinum repandum</i> S.F. Gray			*		*
Familia Cortinariaceae					
<i>Cortinarius sanguineus</i> Wulf. ex Fr.			*		*
<i>Inocybe confusa</i> Kars. sensu Heim			*		*
<i>Inocybe calistrata</i> (Fr.) Gill.			*		*
<i>Inocybe fastigiata</i> (Shaeff. : Fr.) Quél.			*		*
<i>Inocybe geophylla</i> Schum.			*		*
<i>Inocybe lilacina</i> Fr.			*		*

¹ NOM-059-SEMARNAT-2001: A = amenazada; ² Ectomicorrícica; ³ Comestible; ⁴ Tóxica.

continúa...

continuación Cuadro 2...

Nombre científico	Nombre común	NOM-059 ¹	ECM ²	COM ³	TOX ⁴
Familia Ramariaceae <i>Ramaria stricta</i> (Fr.) Quél.					*
Familia Hymenochaetaceae <i>Coltricia perennis</i> (L. : Fr.) Pat.			*		
Familia Geastraceae <i>Geastrum triplex</i> Junghuhn	Hongo estrella				
Familia Lycoperdaceae <i>Lycoperdon marginatum</i> Vittad. ex Moris <i>Lycoperdon perlatum</i> Pers. <i>Lycoperdon umbrinum</i> Pers.				*	
Familia Coriolaceae <i>Daedalea elegans</i> Sprengel ex Fr. <i>Hexagonia papyracea</i> Berkeley <i>Lenzites saepiaria</i> (Wulf. ex Fr.) Fr. <i>Trametes versicolor</i> Lloyd <i>Trichaptum abietinum</i> (Dicks.:Fr.) Ryvarden					
Familia Lentinaceae <i>Pleurotus dryinus</i> (Pers.: Fr.) P. Kumm.				*	
Familia Polyporaceae <i>Polyporus tricholoma</i> Mont.					
Familia Russulaceae <i>Lactarius olympianus</i> Smith. & Helser			*		

¹ NOM-059-SEMARNAT-2001: A = amenazada; ² Ectomicorrílica; ³ Comestible; ⁴ Tóxica

continúa...

continuación Cuadro 2...

Nombre científico	Nombre común	NOM-059 ¹	ECM ²	COM ³	TOX ⁴
<i>Lactarius deliciosus</i> (L. : Fr.) S.F. Gray			*	*	
<i>Lactarius indigo</i> Schw. : Fr.	Hongo añil		*	*	
<i>Lactarius scrobiculatus</i> Scop.: Fr.) Fr.			*		
<i>Russula brevipes</i> Peck.	Trompa blanca		*	*	
<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.: Schw.) Fr.			*	*	
<i>Russula emetica</i> Schaeff. : Fr.			*		
<i>Russula foetens</i> Pers. : Fr.			*		
<i>Russula olivacea</i> Schaeff.: Schw.) Fr.			*	*	
<i>Russula sanguinea</i> Bull.: Saint-Amans) Fr.			*	*	
Familia Astraeaceae					
<i>Astreus hygrometricus</i> (Persoon) Morgan					
Familia Sclerodermataceae					
<i>Scleroderma geaster</i> Fr.			*		
<i>Scleroderma aerolatum</i> Ehrenb.			*		
Familia Exidiaceae					
<i>Phlogiotis helvelloides</i> Fr.					
Familia Tremellaceae					
<i>Tremella mesentérica</i> Schaeff.:Fr.					

¹ NOM-059-SEMARNAT-2001: A = amenazada; ² Ectomicorrílica; ³ Comestible; ⁴ Tóxica

Las familias mejor representadas fueron: Russulaceae con dos géneros y 10 especies; Tricholomataceae con seis géneros y nueve especies; Amanitaceae con un género y ocho especies; Boletaceae con tres géneros y siete especies (figuras 2a, 2b, 2c y 2d). Los macromicetos con mayor frecuencia resultaron ser: *Russula emetica* (Schaeff.) Pers., *R. foetens* (Pers.) Pers., *R. cyanoxantha* (Schaeff.) Fr., *Amanita virosa* (Fr.) Bertill., *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke, *Suillus granulatus* (L.) Roussel y *S. cothurnatus* Singer.



Figura 2a. Especies representativas de macromicetos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México: *Morchela esculenta*.



Figura 2b. Especies representativas de macromicetos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México: *Lactarius indigo*.



Figura 2c. Especies representativas de macromicetos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México: *Geastrum triplex*.



Figura 2d. Especies representativas de macromicetos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México: *Russula emetica*.

El número total de hongos ectomicorrizógenos supera al obtenido por Sánchez (1980), quien citó 13 familias y 35 especies para la Meseta Purépecha y concluyó que Russulaceae, Amanitaceae y Boletaceae tuvieron el mayor número de taxa, lo cual coincide con el presente trabajo. Cabe hacer notar que ese autor incluyó taxones que actualmente se consideran como ectomicorrizógenos facultativos, o bien no son aceptados como *Clitocybe gibba*, *Hygrophoropsis aurantiaca* (Wulf.) Maire, *Lycoperdon perlatum* Pers. y *L. caelatum* Fr. ex Bull.

Landeros (2006) identificó 130 macromicetos en el cerro El Zamorano, localizado en los estados de Querétaro y Guanajuato, cifra muy por arriba a lo registrado en este estudio; sin embargo, hay que considerar que el Zamorano tiene características ambientales propias, que influyen claramente en su riqueza fúngica, tales como varios tipos de vegetación, a saber: bosques de *Quercus*, *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham y *Abies religiosa-Quercus*. Además, su gradiente altitudinal es más grande, va de los 1,900 a los 3,400 m.

Por otra parte, Villarreal (1994) reconoció 43 especies comestibles, de las que 28 son ectomicorrizógenas; mientras que para Barranca del Cupatitzio se enlistan 37 y 26, respectivamente. Villeneuve *et al.* (1989) citaron 84 ectomicorrizógenas, por lo que se considera que si se duplica el esfuerzo de trabajo (2,000 m²) por unidad ambiental, es posible incrementar la cantidad de taxa identificados. O'Dell *et al.* (1999) obtuvieron 150 especies ectomicorrizógenas en una superficie de 2.08 ha, dividida en parcelas circulares de 500 y 1,000 m², igual que en el caso anterior, al aumentar el esfuerzo de muestreo el número de especies fue superior. Hawksworth (2001) plantea que es necesario realizar monitoreos intensivos a largo plazo, por al menos 20 años, para determinar todos los taxa de un sitio particular.

Con relación a la dominancia de los macromicetos, expresada en biomasa, se obtuvo que los abundantes representan 57.22%, los frecuentes 25.87% y en conjunto integran 83% del total; es decir, 14 especies contribuyen con más del 80% de la biomasa total producida; en tanto que el resto de las categorías (ocasionales, esporádicas y raras) constituyen 17%; pero incluyen a la mayoría, con 69 especies (Cuadro 3). Sobresalen por sus valores altos: *Amanita caesarea*, *Russula foetens*, *R. brevipes*, *Amanita virosa*, *Laccaria laccata* y *Leccinum rugocipes* (Peck) Singer.

El índice de similitud de Jaccard mostró diferencias en cuanto a su riqueza específica, presente en las ocho unidades estudiadas; puesto que comparten en promedio 30% de las especies (Cuadro 4). Este resultado es atribuible a las características ambientales que las definen, ya que los macromicetos se distribuyen en gradientes delimitados por la altitud, el tipo de suelo y la vegetación.

Cuadro 3. Dominancia de especies en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, Michoacán, México.

Categoría	Número de especies	Porcentaje en biomasa	Porcentaje en especies
I. Abundantes	6	57.22	7.23
II. Frecuentes	8	25.87	9.64
III. Ocasionales	3	4.34	3.61
IV. Esporádicas	45	12.37	54.22
V. Raras	21	0.2	25.30

Así mismo, existen otros factores, endógenos y exógenos que inciden en su desarrollo. Entre los primeros está la información genética de cada especie y que no todos los taxa son anuales. De los segundos, se pueden citar los climáticos, las barreras geográficas que impiden su distribución y la recolecta de los esporomas con fines utilitarios.

Cuadro 4. Índice de similitud de Jaccard de los sitios de muestreo de macromicetos en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, Michoacán, México.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8
Sitio 1	1	0.208	0.346	0.308	0.238	0.292	0.238	0.409
Sitio 2		1	0.258	0.48	0.318	0.308	0.208	0.214
Sitio 3			1	0.419	0.333	0.323	0.125	0.206
Sitio 4				1	0.478	0.3	0.172	0.219
Sitio 5					1	0.409	0.238	0.24
Sitio 6						1	0.192	0.2
Sitio 7							1	0.24
Sitio 8								1

La conservación de la micetobiota forestal debe ser una de las principales metas de manejo de los ecosistemas boscosos, por dos razones: la importancia ecológica de la simbiosis ectomicorrizógena y el incremento de la explotación de los hongos silvestres comestibles (Boa, 2005). La escasez de recursos económicos y humanos dificulta la implementación de estrategias basadas en especies individuales, por lo que es mejor enfocar los esfuerzos en grupos con necesidades similares de conservación. La jerarquización toma en cuenta los riesgos para los

taxa, así como su distribución, importancia ecológica y económica, como se ha hecho con aves (Bibby *et al.*, 1992), mamíferos (Ceballos *et al.*, 1998), plantas vasculares (Pärtel, 2005) y macromicetos (Molina *et al.*, 2001).

El ordenamiento de los hongos macroscópicos debe considerar las categorías de riesgo asignadas en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2001 (en peligro de extinción, amenazada, sujeta a protección especial), los que son ectomicorrizógenos y los comestibles. Al aplicar estos conceptos, las especies del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio de mayor prioridad incluyen a las amenazadas, ectomicorrizógenas y comestibles (A); seguidas de las amenazadas y comestibles (B), las ectomicorrizógenas y comestibles (C) y las que sólo son comestibles (D). El resultado de esta aproximación inicial, permitió definir 19 taxa prioritarias para su conservación (Cuadro 5), por lo que en el PCyM se establecieron actividades para determinar su estacionalidad, distribución y tamaño poblacional; además de implementar un sistema de monitoreo y designar áreas de protección.

Cuadro 5. Macromicetos prioritarios para su conservación del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, Michoacán, México.

Nombre científico	Prioridad ¹	NOM-059 ²	ECM ³	C ⁴
<i>Morchella esculenta</i>	A	Amenazada	*	*
<i>Agaricus augustus</i>	B	Amenazada		*
<i>Helvella crispa</i>	C		*	*
<i>Helvella elástica</i>	C		*	*
<i>Amanita caesarea</i>	C		*	*
<i>Laccaria amethystina</i>	C		*	*
<i>Laccaria bicolor</i>	C		*	*
<i>Laccaria laccata</i>	C		*	*
<i>Laccaria próxima</i>	C		*	*

continúa...

continuación Cuadro 5...

Nombre científico	Prioridad ¹	NOM-059 ²	ECM ³	C ⁴
<i>Boletus pinophilus</i>	C		*	*
<i>Suilus cothurnatus</i>	C		*	*
<i>Suilus tormentosus</i>	C		*	*
<i>Suillus brevipes</i>	C		*	*
<i>Suillus granulatus</i>	C		*	*
<i>Cantharellus cibarius</i>	C		*	*
<i>Lactarius deliciosus</i>	C		*	*
<i>Lactarius indigo</i>	C		*	*
<i>Russula brevipes</i>	C		*	*
<i>Hypomyces lactifluorum</i>	D			*

¹A = amenazada, ectomicorrizógena y comestible; B = amenazada y comestible; C = ectomicorrizógenas y comestibles; D = comestible. ²NOM-059-SEMARNAT-2001: A = amenazada. ECM³ = ectomicorrizógena; C⁴ = comestible.

A partir del monitoreo se determinará el efecto de las actividades generales de conservación y manejo propuestas en el PCyM sobre las fluctuaciones de las poblaciones correspondientes a las especies fúngicas prioritarias.

CONCLUSIONES

El Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio” cuenta con una riqueza alta de macromicetos en una superficie relativamente pequeña e impactada por el crecimiento urbano. En comparación con información previa, el listado de especies tuvo un incremento del 58%.

Los taxa más abundantes constituyen sólo 17% del total de la micetobiota del parque, expresado en biomasa.

Sin considerar el efecto de esfuerzo de muestreo, la abundancia y distribución son afectadas por factores endógenos y exógenos.

La proporción de hongos macroscópicos del parque con una categoría de riesgo, con importancia ecológica o económica es elevada (23%), los cuales se consideran prioritarios para su conservación.

Es posible que el largo tiempo que el parque ha recibido protección efectiva contra incendios y actividades humanas extractivas haya permitido la existencia de una rica micetobiota.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-SEMARNAT 2002-C01-0196/A-1), a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIOFB919/AS014/03) y al Patronato del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, A. C. por su apoyo financiero para el proyecto "Inventario Florístico y Faunístico del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán". Tres revisores anónimos contribuyeron a mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Arora, D. 1986. *Mushrooms Demystified*. 2ª ed. Ten Speed Press. Berkeley, CA. USA. 959 p.
- Boa, E. 2005. Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población. *Productos Forestales No Madereros* No. 17. FAO. Roma, Italia. 163 p.
- Bello, M. A. y X. Madrigal S. 1996. Estudio florístico del Campo Experimental "Barranca del Cupatitzio", Michoacán. Folleto Científico Núm. 2, INIFAP. Uruapan, Mich. México. 47 p.
- Bibby, C. J., N. J. Collar, M. J. Crosby, M. J. Gead, Ch. Imboden, T. H. Johnson, A. J. Stattersfield and S. J. Thirgood. 1992. *Putting Biodiversity on the Map: Priority Areas for Global Conservation*. ICBP International Council for Bird Preservation, Cambridge, UK. 90 p.
- CABI Bioscience, CBS and Landcare Research. 2008. *Index Fungorum*. www.indexfungorum.org (11 de diciembre de 2008).
- Carrillo, L. 2003. Los hongos de los alimentos y forrajes. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. pp. 119-125.
- Ceballos, G., P. Rodríguez and R. A. Medellín. 1998. Assessing conservation priorities in megadiverse Mexico: mammalian diversity, endemism, and endangerment. *Ecological Applications* 8:8-17.

- Cifuentes, J., M. Villegas-Ríos y L. Pérez-Ramírez. 1986. Hongos. *In*: Lot, A. y F. Chiang (Eds.). Manual de Herbario: Administración y Manejo de Colección. Técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional de la Flora de México, A. C. México, D. F. México. pp. 55–64.
- Díaz-Barriga, H. 1996. Hongos comestibles y venenosos de la cuenca del Lago de Pátzcuaro Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-CIDEM-INECOL. Morelia, Mich. México. 147 p.
- Díaz-Barriga, H. 2002. Hongos macromicetos comestibles, medicinales y destructores de la madera de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, Sierra Chincua, Michoacán, México. Fundación Michoacán Produce, A. C. y Comisión Forestal del Estado de Michoacán. Morelia, Mich. México. 310 p.
- Dennis G., W. R. 1978. British Ascomycetes. J. Cramer. Vaduz, Liechtenstein. 585 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Offset Larios, S.A., México, D. F. México. 252 p.
- Gómez-Reyes, V. M. 2005. Diversidad de hongos ectomicorrízicos y su relación con diferentes unidades ambientales en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Uruapan, Mich. Tesis de Maestría, Facultad de Biología –Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 67 p.
- Gómez-Tagle R., A. F. 1985. Levantamiento de suelos del Campo Experimental Forestal Barranca del Cupatitzio, y sus relaciones con la vegetación de coníferas. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias – Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 135 p.
- Guzmán, G. 1996. Análisis cualitativo y cuantitativo sobre la diversidad de los hongos en México. *In*: Halffter, G. (Editor). La Diversidad Biológica de Iberoamérica II. Instituto de Ecología. Xalapa, Ver., México. pp. 111-176.
- Guzmán, G. 1998. Inventorying the fungi of Mexico. *Biodiversity Conservation* 7:369–384.
- Halling, R. E. 1983. The genus *Collybia* (Agaricales) in the Northeastern United States and adjacent Canada. *Mycologia Memoirs* 8:1-148.
- Hawksworth, D. L., P. M. Kirk, B. C. Sutton and D. N. Pegler. 1996. Dictionary of the Fungi. International Mycological Institute, CAB International. Egham, Surrey, UK. 616 p.
- Hawksworth, D. L. 2001. The magnitude of fungal diversity: The 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research* 105:1422-1432.
- Hesler, L. R. and A. H. Smith. 1979. North American species of *Lactarius*. The University of Michigan Press. Ann Arbor, MI. USA. 600 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1985. Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán. Anexo Cartográfico. Carta

- Estatal de Suelos. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F. México. 7 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2006. II Censo de Población y Vivienda 2005. Resultados Definitivos Michoacán. Aguascalientes, Ags. <http://www.inegi.gob.mx/est/default.aspx?c=6789> (8 de mayo de 2007).
- Janzen, D. H. 1997. Wildland biodiversity management in the tropics. *In*: Reaka-Kudla, M. L., D. E. Wilson and E. O. Wilson (Eds.). Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources. Joseph Henry Press. Washington, DC. USA. pp. 411-431.
- Jenkins, D. T. 1986. *Amanita* of North America. Mad River Press. Eureka. CA. USA. 197 p.
- Krebs, C. J. 1989. Ecological methodology. Harper & Row Publishers. New York, NY. USA. 654 p.
- Landeros, F., J. Castillo, G. Guzmán y J. Cifuentes. 2006. Los hongos (macromicetos) conocidos del cerro El Zamorano (Querétaro y Guanajuato), México. *Rev. Mex. Micol.* 22:25-31.
- Largent, D., D. Johnson and R. Watling. 1984. How to identify mushrooms to genus III: microscopic features. Mad River Press, Eureka. CA. USA. 147 p.
- Mapes, C., G. Guzmán y J. Caballero. 1981. Etnomicología purépecha. El conocimiento y uso de los hongos en la cuenca de Pátzcuaro, Michoacán. Serie Etnociencia. Cuadernos de Etnomicología Núm. 2. Dirección General de Culturas Populares, Sociedad Mexicana de Micología. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 88 p.
- Molina, R., D. Pilz, J. Smith, S. Dunham, T. Dreisbach, T. O'Dell and M. Castellano. 2001. Conservation and management of forest fungi in the Pacific Northwestern United States: an integrated ecosystem approach. *In*: Moore, D., M. M. Nauta, S. E. Evans and M. Rothere (Eds.). Fungal Conservation - Issues and Solutions. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 19-63.
- Mueller, G. M., J. P. Schmit, P. R. Leacock, B. Buyck, J. Cifuentes, D. E. Desjardin, R. E. Halling, K. Hjortstam, T. Iturriaga, K.-H. Larsson, D. J. Lodge, T. W. May, D. Minter, M. Rajchenberg, S. A. Redhead, L. Ryvardeen, J. M. Trappe, R. Watling and Q. Wu. 2007. Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodiversity and Conservation* 16:37-48.
- O'Dell, E. T., J. F. Ammirati and E. G. Schreiner. 1999. Species richness and abundance of ectomycorrhizal basidiomycete sporocarps on a moisture gradient in the *Tsuga heterophylla* zone. *Canadian Journal of Botany* 77:1699-1711.
- Pärtel, M., R. Kalamees, Ü. Reier, E-L. Tuvi, E. Roosaluuste, A. Vellak and M. Zobel. 2005. Grouping and prioritization of vascular plant species for

- conservation: combining natural rarity and management need. *Biological Conservation* 123:271-278.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México, D. F. México. pp. 283-313.
- Sánchez, R. 1980. Hongos micorrízicos y su relación con los bosques de coníferas de la Meseta Tarasca. *Rev. Cien. For. Méx.* 5:42-63.
- Sánchez, R. 1982. Evaluación de la producción de hongos comestibles (*Russula brevipes*) en una plantación de pinos en Michoacán. *In: Memorias del 1er. Congreso Nacional de Micología*. Sociedad Mexicana de Micología. Xalapa, Ver. México. pp. 34.
- Schmit, J. P. and G. M. Mueller. 2007. An estimate of the lower limit of global fungal diversity. *Biodiversity and Conservation* 16:99-111.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental–Especies nativas de México de flora y fauna silvestres–Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, segunda sección, 6 de marzo de 2002. pp. 95-190.
- Singer, R., J. García and L. D. Gómez. 1990. The Boletinae of Mexico and Central America I & II. *Nova Hedwigia*. 98:1-72.
- Singer, R., J. García and L. D. Gómez. 1991. The Boletinae of Mexico and Central America III. *Nova Hedwigia*. 102:1-117.
- Singer, R., J. García and L. D. Gómez. 1992. The Boletinae of Mexico and Central America IV. *Nova Hedwigia*. 105:1- 62.
- Vargas M., F. 1997. *Parques Nacionales de México. Aspectos físicos, sociales, legales, administrativos, recreativos, biológicos, culturales, situación actual y propuestas en torno a los parques nacionales de México*. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F. México. 261 p.
- Villarreal, L. 1994. Análisis ecológico-silvícola de la productividad natural de los hongos comestibles silvestres en los bosques del Cofre de Perote, Veracruz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx. México. 158 p.
- Villarreal, L. y J. Pérez-Moreno. 1989. Los hongos comestibles de México, un enfoque integral. *Micología Neotropical Aplicada*. 2:77-114.
- Villeneuve, N., M. M. Grandtiner and J. F. Fortin. 1989. Frequency and diversity of ectomycorrhizal and saprophytic macrofungi in the Laurentide Mountains of Quebec. *Canadian Journal of Botany* 67:2616-2629.

EVALUACIÓN DE TERRAZAS DE BANCO PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES

Oscar Raúl Mancilla Villa¹, José Luis Oropeza Mota¹
y Mario Martínez Menes¹

RESUMEN

Ante el grave problema de erosión prevaleciente en México, se describe el diseño de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales realizado en Valle de Bravo, Estado de México. Se evaluó la eficiencia técnica del proyecto y se determinó su factibilidad financiera. La fase de campo se llevó a cabo de enero a agosto de 2007. Se definieron los intervalos vertical y horizontal entre los bancales, con base en los criterios de precipitación, las pendientes dominantes en el terreno (15 y 30%), la textura del suelo y los requerimientos del silvicultor. Se diseñaron 70 terrazas de 3 m de ancho por 0.45 m y 0.90 m de alto para las pendientes respectivas, en una superficie de 4 ha donde se plantaron 3,757 árboles comerciales. Para determinar la eficiencia técnica se midieron la infiltración, el escurrimiento superficial y los sedimentos en lotes con y sin terrazas de 0.15 m², bajo lluvia simulada con una intensidad de 140 mm h⁻¹. La erosión del suelo se estimó mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. Las terrazas mostraron una eficiencia de 99.09% para mitigar la erosión, 43.6% para aumentar la infiltración, 74% para reducir el escurrimiento superficial y 46.6% la de sedimentos. La factibilidad financiera reportó una relación beneficio-costado de 2.37, un valor actual neto de \$7'800,318.77 y una tasa interna de retorno de 129%. La construcción y operación del sistema de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales es una opción técnica eficiente y financieramente factible.

Palabras clave: Eficiencia técnica, erosión, escurrimientos, factibilidad financiera, sedimentos, terrazas.

Fecha de recepción: 13 de noviembre de 2007.

Fecha de aceptación: 13 de mayo de 2009.

¹Programa de Hidrociencias, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados.
Correo-e: vios@colpos.mx

ABSTRACT

As an option to face the severe erosion problem that prevails in México, a project of bench terraces for commercial forest plantations was carried out in Valle de Bravo, Estado de México. The technical efficiency of the project was assessed as well as its financial feasibility. Field work was done from January to August, 2007. Vertical and horizontal ranges between the benches were based upon the following criteria: rainfall, dominant slopes (15 and 30 per cent), soil texture and the foresters' needs. Seventy 3 m x 0.45 m x .90 m terraces were built in 4 ha, where 3,757 commercial trees were planted. In order to know their technical efficiency, infiltration, superficial draining and the sediments in plots with and without 0.15 m² terraces were measured, under simulation rainfall of 140mmh⁻¹ intensity. Soil erosion was estimated through the Universal Soil Loss Equation. Terraces showed an efficiency of 99.09 per cent for erosion control, 43.6 per cent for infiltration increment, 74 per cent of runoff reduction and 46.6 per cent of sediment loss. In regard to financial feasibility, it was found a cost-benefit relation of 2.37, with a net present value of \$ 7 800 318.77, and an internal rate of return of 129%. It was concluded that the implementation of bench terraces for commercial forest is a technically efficient financially feasible possibility.

Key words: Technical efficiency, erosion, runoff, financial feasibility, sediment, terraces.

INTRODUCCIÓN

México es un país con graves problemas de erosión; 80% de su territorio muestra algún grado de pérdida de suelo de acuerdo con Ramírez y Oropeza (2001). Este proceso es considerado como el de mayor restricción para el desarrollo rural (Lal y Stewart, 1990) y la reducción de la pobreza (Posthumus y de Graaff, 2004; Sang-Arun *et al.*, 2005). Lal y Stewart (1992) señalaron que anualmente se pierden en el mundo entre cinco y siete millones de hectáreas de terreno laborable por esta causa. En México, 85% de los suelos tienen más de 3% de pendiente, lo cual genera una producción de sedimentos de 4.867.670 ton año⁻¹ (Vergara *et al.*, 2004; 2005). Este material contamina las aguas superficiales (Faucette *et al.*, 2005) y deteriora la calidad del medio ambiente (Delgado *et al.*, 2005). Además, las características topográficas y la intensidad de las lluvias que predominan en el país son indicadores de un alto riesgo de erosión (Zúñiga *et al.*, 1993), en terrenos de ladera, donde la pérdida de sustrato es de 2.8 ton ha⁻¹ año⁻¹ (Francia *et al.*, 2000).

El manejo de estos terrenos y el agua mediante prácticas productivo-conservacionistas es de suma importancia para el desarrollo

sustentable del campo (Turrent *et al.*, 2002). Sin embargo, si el costo de inversión de dichas prácticas resulta alto y el beneficio bajo, los agricultores no accederán a implementar las técnicas recomendadas (Sharda y Dhyani, 2004).

Enfrentar este problema exige propuestas integrales e innovadoras para reducir los impactos ambientales de la agricultura y ofrecer ventajas competitivas en términos económicos y sociales (Pimentel *et al.*, 1995; Park *et al.*, 1995). En esa perspectiva, se presenta una propuesta que involucra el diseño de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, así como su evaluación técnica y determinación de su factibilidad financiera, de manera que funcionen como una alternativa de manejo y aprovechamiento de los suelos de ladera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto que se describe a continuación se estableció en un terreno de 4 ha, en el rancho Jesús María en Valle de Bravo, Estado de México, localizado en los 19° 09' 24" de latitud norte y a 99° 59' 24" de longitud oeste (Figura 1), a una altitud de 1,850 m, con una precipitación media anual de 964 mm. Los suelos son de textura franco arcillosa con alto contenido de materia orgánica (5 a 6%) en la capa superficial y se clasifican como Cambisoles.

Diseño de terrazas de banco

El diseño de las terrazas se basó en el cálculo de los intervalos vertical (IV) y horizontal (IH); se consideraron las dos pendientes dominantes en el terreno, la precipitación media anual de la zona y las necesidades del silvicultor. Las ecuaciones para determinar los intervalos son las siguientes:

$$IV = \left(2 + \frac{S}{3 \text{ o } 4} \right) \quad (0.305) \quad (1)$$

$$IH = \frac{IV}{S} \times 100 \quad (2)$$

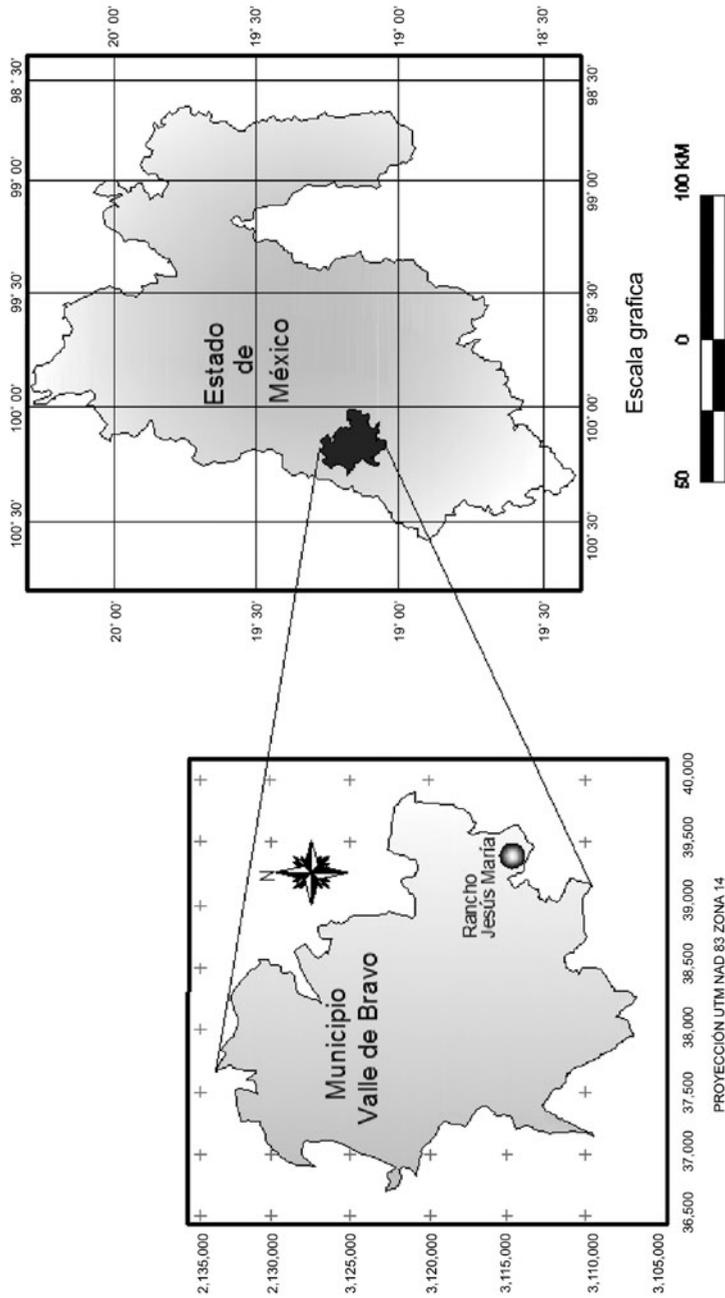


Figura 1. Localización del área de estudio.

Donde:

IV = intervalo vertical (m)

S = pendiente del terreno (%)

3 = factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es menor de 1,200 mm

4 = factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es mayor de 1,200 mm

IH = intervalo horizontal (m)

0.305 = factor de conversión de pies a metros.

Construcción de bancales y plantación forestal

Para la construcción de las terrazas se utilizó un tractor Caterpillar D4, una retroexcavadora y dos ayudantes para la afinación de los taludes, quienes realizaron el trabajo de forma manual. La plantación forestal se llevó a cabo en abril de 2006 y el arreglo utilizado para los árboles en el campo fue de tresbolillo, ya que permite la mayor densidad de la plantación, que fue de 3,757 árboles en 4 ha (Figura 2).

La plantación se diseñó de manera tal que una terraza se estableciera con plantas de ornato y la siguiente se utilizara como camino de acceso. Se incorporaron especies en la plantación de los siguientes géneros: *Liquidambar*, *Quercus*, *Pinus*, *Cedrus*, *Abies*, *Chamaecyparis*, *Acacia*, *Fraxinus* y *Sequoia*, seleccionadas por su demanda en el mercado como árboles de ornato.

Evaluación técnica de terrazas de banco

Se estudiaron tres variables: la infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos en lotes de escurrimiento de 0.15 m² en laboratorio, sobre los cuales se simuló el efecto de la lluvia con una intensidad de 140 mm h⁻¹.



Figura 2. Plantación forestal en una de las terrazas.

Los lotes se conformaron con muestras de suelo inalteradas, provenientes de un bosque natural aledaño con una pendiente de 30% como testigo y muestras de suelo de las terrazas construidas sin pendiente (Figura 3). La lluvia se aplicó con un simulador con disco giratorio, tipo Morin, durante 1 h, con una intensidad de 140 mm h⁻¹.



Figura 3. Aspecto de los lotes en el simulador de lluvia.

Para medir la infiltración, de acuerdo con Ramírez y Oropeza (2001) se colocó abajo del lote de escurrimiento un recipiente de plástico para coleccionar el agua que se infiltró en el suelo. Cada 5 min se tomó lectura del agua captada en el recipiente, con probeta graduada y se obtuvo el promedio de las repeticiones en los tratamientos. Para cuantificar el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos, en el vertedor del lote se colocó otro recipiente de plástico cada 5 min. Al final de la simulación, se dejaron reposar durante 24 h para que los sedimentos se decantaran y separaran del líquido. Los sedimentos se secaron en la estufa

de secado por 24 h, a 70°C; posteriormente, se pesaron los recipientes con y sin sedimentos para obtener su peso seco. Este dato correspondió a la producción de sedimentos del lote después de 5 min. de lluvia. El escurrimiento se calculó restando el peso seco del sedimento al peso total del recipiente con el material de arrastre.

Además, se estimó la erosión actual con y sin terrazas con el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (EUPS) (Wischmeier y Smith, 1965) que, de acuerdo con Tejera *et al.* (2006), permite evaluar las pérdidas de suelo por erosión laminar mediante la expresión paramétrica siguiente:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (3)$$

Donde:

A = pérdida de suelo por unidad de superficie que se obtiene por el producto de los otros factores (ton ha^{-1})

R = erosividad de la lluvia ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)

K = erosionabilidad del suelo ($\text{ton ha h MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$)

LS = longitud y grado de pendiente (adimensional)

C = cultivo o cobertura vegetal (adimensional)

P = prácticas mecánicas (adimensional)

La eficiencia para los cuatro indicadores (infiltración, escurrimiento superficial, producción de sedimentos y erosión hídrica estimada con la EUPS) se calculó de la siguiente manera:

$$E = \left(\frac{I_{st} - I_{ct}}{I_{st}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde:

E = eficiencia (%)

I_{st} = indicador medido en el lote sin terrazas

I_{ct} = el mismo indicador medido en el lote con terrazas

Evaluación financiera

Para realizar la evaluación financiera (factibilidad financiera) se cuantificaron los costos y beneficios del proyecto (Cuadro 1); se estimaron los siguientes indicadores financieros: relación beneficio costo (R B/C), valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). La tasa de interés utilizada para los cálculos fue de 12% anual. Los indicadores se determinaron con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{B}{C} = \left[\frac{\sum_{t=0}^n \frac{Bn}{(1+i)^n}}{\sum_{t=0}^n \frac{Cn}{(1+i)^n}} \right] \quad (5)$$

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Bn - Cn}{(1+i)^n} \quad (6)$$

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{Bn - Cn}{(1+i)^n} = 0 \quad (7)$$

Donde:

Bn = beneficios de cada año (\$)

Cn = costos de cada año (\$)

n = número de años

i = tasa de interés (descuento) o actualización (%)

El criterio de aceptación de la factibilidad del proyecto fue que $TIR > 12\%$ y que $R B/C > 1$. Los costos del proyecto se generaron en los siguientes rubros: terreno, elaboración del proyecto, supervisión del proyecto, construcción y afinación de terrazas, sistema de riego, plántulas, plantación, fertilización, riego, mantenimiento de las terrazas y de la plantación e imprevistos.

Los beneficios para el cálculo de los indicadores fueron los ingresos obtenidos por la venta de los árboles para ornato, por 6 años, se consideraron precios de mayo de 2007, siendo \$1,200.00 el correspondiente a cada árbol.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño de terrazas para plantación forestal

El diseño final de las terrazas de banco consideró un intervalo horizontal (IH) de 3 m y dos intervalos verticales (IV) de 0.45 y 0.90 m para los terrenos con pendientes de 15 y 30%, respectivamente. Esta tendencia fue similar a la reportada por Sang-Arun *et al.* (2005), quienes utilizaron el IV de 0.39 a 1.09 m e IH de 1.25 a 2.05 m para pendientes de 45 a 90%.

Construcción de bancales, plantación forestal y costos

El diseño definió que para las dimensiones del terreno se pueden construir 70 terrazas, lo que supone una longitud total de 8,332 m. La mitad de la superficie de terrazas tuvo plantación, mientras que el resto se destinó a caminos de acceso y de maniobras (Figura 4). El volumen de tierra removido fue de 3,864.21 m³, que tuvo un costo de \$20.00 por m³, lo que finalmente sumó \$77,291.20. La afinación de terrazas y taludes tuvo un costo de \$1,654.21 ha⁻¹, que representó un monto de \$6,616.86 por este concepto. El total de la inversión en la construcción de las terrazas fue de \$83,908.06. Los árboles incorporados a la plantación se compraron a \$300.00 c/u, de modo que el costo de los 3,757 árboles adquiridos fue de \$1'127,100.00.

Evaluación técnica

La comparación de la infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos medidos en los lotes con y sin terrazas se muestran en las figuras 5 y 6. Así, en la primera se observa que durante el tiempo de simulación de lluvia los lotes con terrazas mostraron una infiltración más alta que los lotes sin terrazas. Sin embargo, en ambos tratamientos, esto tiende a disminuir ligeramente en la medida en que aumenta el tiempo de precipitación pluvial, lo que se explica por la saturación del suelo que resulta de la recepción permanente del agua que recibe.

El escurrimiento superficial se comporta de manera contraria a lo observado con la infiltración; es decir, que en ambos tratamientos se incrementó ligeramente con la duración de la lluvia, lo que, igualmente, puede responder al grado de saturación que alcanzó el suelo durante el tiempo de lluvia. Como se esperaba desde el inicio, el tratamiento sin terrazas mostró un mayor escurrimiento superficial con relación al que tenía terrazas (Figura 6).



Figura 4. Panorámica de la plantación en las terrazas.

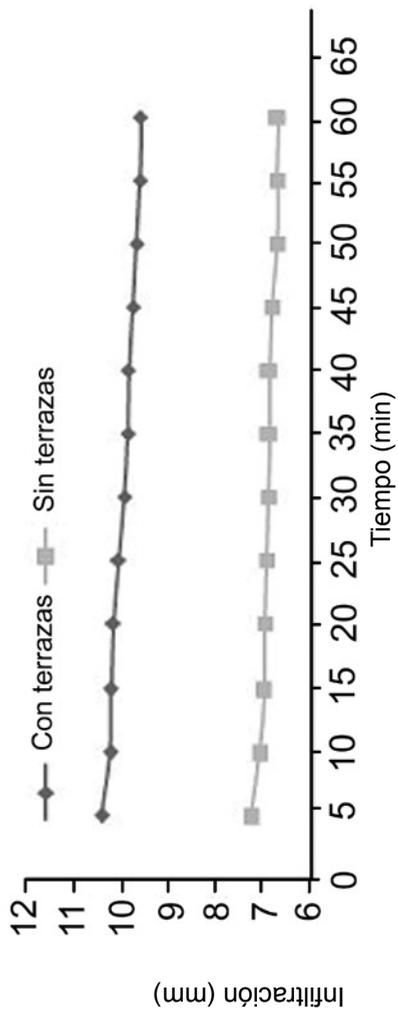


Figura 5. Comportamiento de la infiltración en lotes con y sin terrazas.

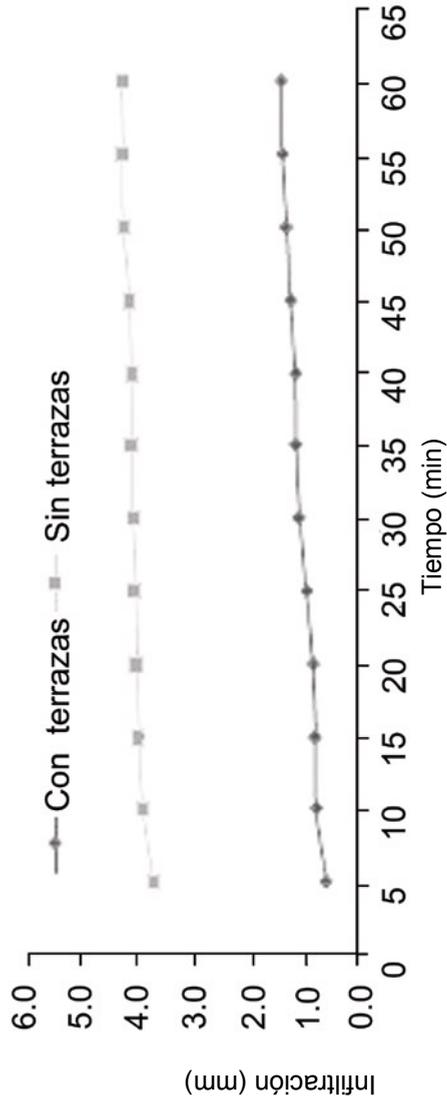


Figura 6. Comportamiento del escurrimiento superficial en lotes con y sin terrazas.

En cuanto a la producción de sedimentos, la tendencia fue similar a la del escurrimiento, el cual aumentó con la duración de la lluvia, lo que indica la capacidad de transporte de este material por el flujo superficial. Del mismo modo, el tratamiento sin terrazas presentó mayor producción en comparación a su similar con terrazas (Figura 7).

Los valores medios de escurrimiento superficial, infiltración y sedimentos obtenidos en los tratamientos con y sin terrazas, al final del periodo de simulación de lluvia (1h), se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Eficiencia de las terrazas de banco en cuanto a la infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos.

Tratamientos	Infiltración (mm)	Escurrecimiento superficial (mm)	Sedimentos (g m ⁻²)
Con terrazas	9.95	1.05	7.86
Sin terrazas	6.93	4.07	14.7
Diferencia	3.02	3.02	6.87
Eficiencia (%)	43.6	74.2	46.6

Los datos anteriores destacan que las terrazas tuvieron una eficiencia de 43.6% en aumentar la infiltración, con respecto al tratamiento testigo. El escurrimiento superficial en el tratamiento con bancales disminuyó en 74.2%, eficiencia cercana a la reportada por Sharda *et al.* (2002), de 80% en terrazas de banco en clima subhúmedo. El coeficiente de escurrimiento para los bancales diseñados en el rancho Jesús María fue de 0.26. Finalmente, los lotes con terrazas redujeron la producción de sedimentos en 46.6%.

Con relación a la eficiencia de los bancales para reducir la erosión hídrica, los resultados se presentan en el Cuadro 2 que muestra la erosión estimada para antes y después de su construcción.

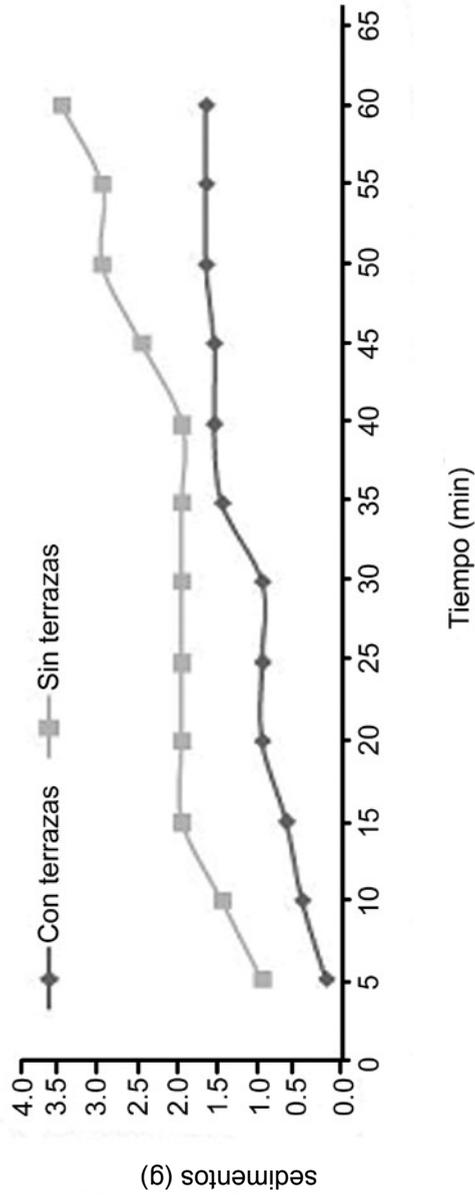


Figura 7. Comportamiento de la producción de sedimentos en lotes con y sin terrazas.

Cuadro 2. Eficiencia de las terrazas de banco para reducir la erosión hídrica.

Tratamientos	Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo					Erosión actual***	Eficiencia de las terrazas para reducir la erosión hídrica (%)
	R*	K**	LS†	C†	P†		
Sin terrazas de banco 15% de pendiente	2544.65	0.02	4.33	0.07	1	15.43	
Sin terrazas de banco 30% de pendiente	2544.65	0.02	9.07	0.07	1	32.31	
Con terrazas de banco y plantación forestal	2544.65	0.02	0.11	0.02	0.17	0.19	99.09

†= Adimensional; *(MJ mm ha⁻¹ h⁻¹); **(ton ha h MJ⁻¹mm⁻¹); ***(ton ha⁻¹año⁻¹)

Antes del establecimiento de los bancales, en el terreno con 15% de pendiente se estimó una erosión de 15.43 ton ha⁻¹año⁻¹, mientras que en la parcela con 30% fue de 32.31 ton ha⁻¹ año⁻¹. Después de construir las terrazas para ambas, se calcularon 1.18 ton ha⁻¹ año⁻¹, con lo cual se estimaron las eficiencias de 98.77 y 99.41% para reducirla, con promedio ponderado de 99.09%. Esto se atribuye a la reducción de la pendiente y a la longitud del terreno, lo cual se logra al construir los bancales, además de que disminuyen la concentración del escurrimiento superficial que es responsable del arrastre de las partículas de suelo.

Evaluación financiera

Los beneficios generados por la venta de los 3,757 árboles para ornato ascienden a \$4'508,400.00, que fueron considerados como ingresos alcanzados el segundo año de trabajo en junio y julio de 2007, mismos que se proyectaron a un horizonte de seis años. En el Cuadro 3 se describen los costos.

Cuadro 3. Costos del proyecto de terrazas de banco para plantación forestal comercial.

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo Anual (\$)
Inversiones				
Elaboración del proyecto de terrazas	proyecto	1.00	15,600.00	15,600.00
Construcción de terrazas	m ³	3,864.56	20.00	77,291.20
Afinación de terrazas y taludes	ha	4.00	1,654.21	6,616.86
Tierra	ha	4.00	100,000.00	400,000.00
Sistema de riego	ha	4.00	105,000.00	420,000.00
Subtotal				919,508.06
Costos de Producción				
Mano de obra				
Mantenimiento de terrazas y plantación.	jornales	791.00	100.00	79,100.00
Mantenimiento de Plantación (fertilización)	ton	0.31	9,575.00	3,015.49
Plantación	árboles	3,757.00	10.00	37,570.00
Materiales				
Plántulas	plántula	3,757.00	300.00	1'127,100.00
Administración				
Supervisión de la plantación, manejo y mantenimiento.	técnico	12.00	8,000.00	112,000.00
Riego (costo de electricidad)	kWh ⁻¹	1,680.00	0.4	672.00
Imprevistos (5%)	%	5.00	93,948.00	72,948.28
Subtotal				1'432,405.77
Total				2'351,913.83

Los costos que se tomaron en cuenta fueron las inversiones, costos de producción, materiales, gastos de administración e imprevistos para el primer año. Para el segundo año y hasta el sexto, los costos fueron los mismos a excepción de la inversión realizada al inicio.

Con los costos y beneficios estimados para un periodo de seis años, se obtuvo una relación B/C de 2.37, un VAN de \$7'800,318.72 y una TIR de 129%, mayor a la tasa de interés del 12% anual del mercado, lo que indica la rentabilidad de esta plantación forestal como vivero comercial. Lu y Stocking (2000) reportan un VAN de 24,175.00 dólares y una TIR de 41% en terrazas de banco con cultivo en China. Los indicadores financieros de este proyecto son mayores que los obtenidos por los autores citados, lo que se explica por el grado de tecnificación con el que se construyeron las obras y el enfoque de un vivero comercial que oferta árboles a precios rentables por la demanda del mercado.

CONCLUSIONES

La construcción de bancales con plantación forestal en el Rancho de Jesús María, Valle de Bravo, Edo. de Méx., es técnicamente eficiente porque, comparada con el terreno sin terrazas, la infiltración se incrementa 30.35%, el escurrimiento superficial se reduce 74%, la producción de sedimentos disminuye 46% y la erosión hídrica baja de 24 ton ha⁻¹año⁻¹ a 1.8 ton ha⁻¹año⁻¹. Esto prueba los servicios ambientales que generan las obras productivo-conservacionistas.

La plantación de árboles comerciales para ornato sobre el terreno con terrazas es un proyecto financieramente factible porque la relación B/C es de 2.39, el VAN es de \$7'800,318.72 y la TIR >12%, indicadores de rentabilidad que demuestran la viabilidad financieras de las inversiones para obras de conservación de suelos con enfoque de plantación forestal comercial.

REFERENCIAS

- Delgado, J. A., C. A. Cox., F. J. Pierce and M. G. Dosskey. 2005. Precision conservation in North America. *Journal of Soil and Water Conservation* 60: 340-341.
- Faucette, L. B., C. F. Jordan., L. M. Risse, M. Cabrera M., D. C. Coleman and L. T. West. 2005. Evaluation of stormwater from compost and conventional erosion control practices in construction activities. *Journal of Soil and Water Conservation* 60: 288-341.
- Francia, M., M. Raya J. y R. Gutiérrez. 2000. Erosión en suelo de olivar en fuertes pendientes. Comportamiento de distintos manejos de suelo. S.E.C.S. Edafología. pp. 147-155.
- Lal, R. and B. A. Stewart. 1990. Soil erosion and land degradation: the global risks. *In*: Lal, R. and B. A. Stewart (Eds.). *Advances in Soil Science*, Vol. 11. Springer-Verlag. New York, NY. USA. pp. 129-172.

- Lal, R. and B. A. Stewart. 1992. Need for soil restoration. *In*: Lal, R. and B. A. Stewart (Eds.). Soil restoration. Advances in Soil Science, Vol. 17. Springer-Verlag. New York, NY. USA. pp. 1-9.
- Lu, Y. and M. Stocking. 2000. Integrating biophysical and socio-economic aspects of soil conservation on the Loess Plateau, China. Part III. The benefits of conservation. *Land Degradation and Development*, 11:153-165.
- Park, S. W., S. Mostaghimi, R. A. Cooke and P. W. McClellan. 1995. BMP impacts on watershed runoff, sediment and nutrients yields. *Water Res. Bull.* 30: 1011-1022.
- Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri and R. Blair. 1995. Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science* Vol. 267(5201): 1117-1123
- Posthumus, H. and J. de Graaff. 2004. Cost-benefit analysis of bench terraces, a case study in Peru. *Land Degradation and Development*, Vol. 16 (1): 1-11.
- Ramírez-Cruz, M. E. y J. L. Oropeza-M. 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión de laderas en el trópico. *Agrociencia* 35 (5): 489-495.
- Sang-Arun, J., M. Mihara, Y. Horaguchi and E. Yamaji. 2005. Soil erosion and participatory remediation strategy for bench terraces in northern Thailand. *Catena* 65(3): 258-264.
- Sharda, V. N., J. P. Juyal and P. N. Sing. 2002. Hydrologic and sedimentologic behavior of a conservation bench terrace system in a sub-humid climate. *Transaction of the ASAE* 45 (5): 1433-1441.
- Sharda, V. N. and B. L. Dhyani. 2004. Economic analysis of conventional and conservation bench terrace systems in a sub-humid climate. *Transaction of the ASAE*. 47(3): 711-720.
- Tejera G., R., F. García y R. García. 2006. Pérdida tolerable de suelo: modelo para su estimación en la ordenación de cuencas hidrográficas. *Ingeniería Agrícola en México* 21:33-41.
- Turrent F., A., N. Francisco N. y S. Uribe G. 2002. Pérdida de suelo y nutrientes en un entisol con prácticas de conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36 (2): 161-168.
- Vergara S., M. A., J. D. Etchevers B. y M. Vargas H. 2004. Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera del sureste de México. *Terra Latinoamericana* 22 (3): 359-367.
- Vergara S., M. A., J. D. Etchevers B. y J. Padilla C. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39 (3):259-266.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for

- soil and water conservation. USDA Handbook No. 282. Washington, DC. USA. 47 p.
- Zúñiga G., J. L., R. Camacho C., S. Uribe G., N. Francisco N. y A. Turrent F. 1993. Terrazas de muro vivo para sustentar la productividad en terrazas agrícolas de ladera. Folleto Técnico Núm. 6, INIFAP-CIRGOC. Isla, Ver. México. 29 p.

FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO Y VOLUMEN COMPATIBLE PARA *Pinus arizonica* Engelm. EN EL SUROESTE DE CHIHUAHUA

Marín Pompa García¹, José Javier Corral Rivas¹,
Manuel Antonio Díaz Vásquez¹ y Martín Martínez Salvador²

RESUMEN

Pinus arizonica es una de las especies de mayor uso y distribución en el suroeste del estado de Chihuahua, donde cubre 80% de la superficie forestal y genera al año aproximadamente 160,000 m³ de madera; no obstante, el conocimiento veraz referente a las estimaciones de su volumen comercial es limitado. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo conocer su ahusamiento y diseñar una ecuación compatible que garantice su aplicación operativa. Se probaron seis modelos que incluyen ecuaciones lineales y no lineales, 2,230 pares de datos de 319 árboles derribados para aprovechamiento forestal. La bondad del ajuste se examinó a partir de la comparación del coeficiente de determinación ajustado, la raíz del error medio cuadrático y un índice de precisión. Se incluyeron técnicas estadísticas para verificar y corregir los problemas de colinealidad, autocorrelación y heterocedasticidad asociados a los procedimientos de regresión. El modelo de Biging resultó ser el de mejor capacidad de predicción, el cual mediante su integración matemática permite obtener una expresión de ahusamiento compatible con volúmenes comerciales y totales del arbolado en pie. Esta ecuación es recomendada para estimar el diámetro y la altura a lo largo del fuste; así como, el volumen comercial y total de la especie estudiada.

Palabras clave: Ahusamiento, estimaciones volumétricas, modelo de Biging, *Pinus arizonica* Engelm., volumen comercial, volumen compatible.

Fecha de recepción: 21 de diciembre de 2007.

Fecha de aceptación: 11 de mayo de 2009.

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Correo-e: mpgarcia@ujed.mx

² Campo Experimental La Campana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP.

ABSTRACT

Pinus arizonica. is one of the most abundant and regularly used species that grows at the southeastern part of Chihuahua state, and covers 80 per cent of the forest territory, with an annual wood production near 160,000 m²; however, knowledge about the estimation of its commercial volume is limited. Thus, the aim of this study was to know its taper and to formulate a compatible equation that guarantees their operation application. Six models including linear and non-linear equations were tested and fitted to 2,230 data pairs from 319 felled trees from harvesting operations. Fitting goodness was examined through the comparison of the adjusted coefficient of determination, root mean square error and a precision index. Statistical techniques to verify and correct problems of collinearity, autocorrelation and heteroscedasticity were included. Biging model had the best predictionability; its mathematical integration makes it possible to get a taper expression compatible to total and commercial volumes for trees. This equation is recommended to assess diameter and height of the stem and total and commercial volume for the species that was analyzed.

Key words: Taper, volumetric estimations, Biging model, *Pinus arizonica* Engelm., commercial volume, compatible volume.

INTRODUCCIÓN

En el suroeste del estado de Chihuahua existen grandes superficies de bosques de pino que mediante su aprovechamiento constituyen la principal fuente de ingresos para los productores forestales del área de influencia de la Asociación de Silvicultores Unidos de Guachochi, S. C.

Pinus arizonica Engelm. es una especie importante que se distribuye en 80% de la superficie regional arbolada y que genera un volumen maderable anual del orden de los 160,000 m³ (SEMARNAT, 2005) cuyo principal destino es la industria para la obtención de productos de alto valor comercial. Sin embargo, el conocimiento de las estimaciones volumétricas para el taxón es limitado, pues se carece de ecuaciones desarrolladas de manera local y específica. Usualmente, los programas de manejo en la región utilizan estas funciones a nivel de género y se desconoce su fundamentación estadística, por lo que resulta imperativo superar esta condición mediante la obtención de un modelo de ahusamiento capaz de estimar volúmenes comerciales y totales, basado en procedimientos estadísticos rigurosos que posibiliten su aplicación en el ámbito de los inventarios forestales, de acuerdo a las exigencias de la normatividad forestal vigente.

A lo largo del tiempo, gracias a los avances en las técnicas biométricas e informáticas, se han desarrollado diversas ecuaciones para simular el perfil fustal de los árboles, desde las más simples de ahusamiento (Kozak *et al.*, 1969; Ormerod, 1973; Hilt, 1980) hasta las polinomiales segmentadas (Bruce *et al.*, 1968; Max and Burkhart, 1976; Cao *et al.*, 1980) y las geométricas y trigonométricas (Parresol y Tomas, 1996; Fang y Bailey, 1999; Bi, 2000; Zhang *et al.*, 2002). No obstante que estas aportaciones han permitido una reducción considerable en costos, sin menoscabo de la precisión de sus estimadores, se carece de un modelo que explique adecuadamente la variación de la forma del fuste (Newnham, 1998), dado que es un factor muy inestable y sensible a muchas interacciones de la dinámica forestal (Castedo, 2003).

Durante la última década, en el norte de México se han generado funciones de ahusamiento para diversas especies de *Pinus*. Corral *et al.* (1999) obtuvieron buenos resultados con el modelo de Biging (1984), pero sugieren realizar investigación adicional, por lo que recomiendan desarrollar ecuaciones por taxón (Corral *et al.*, 2007). Cruz *et al.* (2008) desarrollaron un sistema compatible para estimar el volumen de *Pinus cooperi* Blanco mediante la modificación de un modelo lineal polinómico, el cual hicieron más flexible con la inclusión de efectos mixtos que controlan la variabilidad y mejoran notablemente la capacidad predictiva.

En la búsqueda constante por optimizar la distribución de los productos del arbolado en pie, previo a su industrialización, este trabajo tuvo como objetivo modelar el ahusamiento y generar ecuaciones de volumen comercial y total para *Pinus arizonica* en los bosques de la región de Silvicultores Unidos de Guachochi, Chihuahua, México. La hipótesis a probar fue que en dicha función el ahusamiento es integrable, y por tanto es posible obtener una ecuación de volumen total compatible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La región administrativa de Silvicultores Unidos de Guachochi, S.C., cuya superficie es de 767,000 ha, se localiza en la parte suroeste del estado de Chihuahua, entre los paralelos 27°52' y 27°30' latitud norte y meridianos 106°30' y 107°30' longitud oeste (Figura 1). El área comprende los municipios de Urique, Batopilas, Balleza y Guachochi.

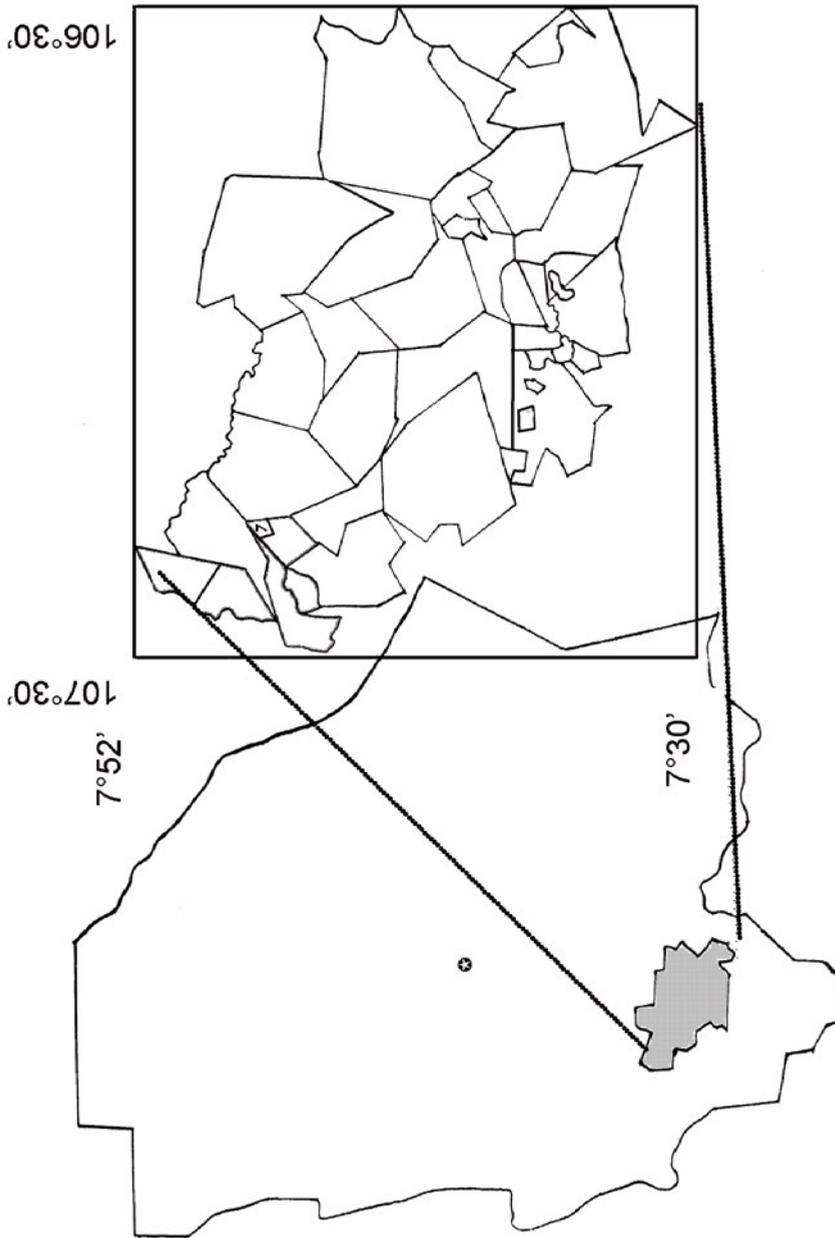


Figura 1. Localización del área de estudio correspondiente a la región administrativa de Silvicultores Unidos de Guachochi, S. C. con división predial.

La organización está integrada por 30 ejidos y 1,000 pequeñas propiedades, con una población de 110,000 beneficiarios, de los cuales 85% corresponde a la población Rarámuri (INEGI, 2004). Está enclavada en lo alto de la Sierra Madre Occidental, conocida como Sierra Tarahumara, en terrenos accidentados, con elevaciones y depresiones muy irregulares (Pompa, 1995).

El uso del suelo es forestal; el manejo se lleva a cabo con base en un potencial productivo anual de madera de 250,000 m³ de pino y 80,000 m³ de encino (SEMARNAT, 2005). El bosque corresponde a la vegetación propia de las regiones de clima C(E)(w₀), según la clasificación de Köppen modificado por García (1988); los géneros presentes son: *Pinus*, *Quercus*, *Fraxinus* y *Juniperus*, entre otros (SEMARNAT, 2005).

Descripción de los datos

Se obtuvo una muestra de 319 árboles seleccionados de manera aleatoria, para incluir todas las calidades de estación del área de estudio; además de la distribución de los árboles en términos de clases de diámetro y altura (Figura 2a). La toma de los datos de campo se realizó mediante un muestreo destructivo en las áreas de corta, para lo cual se midieron las siguientes variables: diámetro normal con corteza en centímetros (D), altura total en metros (H), diámetro con corteza en centímetros (d) y para cada sección la altura con respecto al suelo en metros (h). La información final consistió en 2,230 pares de diámetro (d) y altura (h) distribuidos a lo largo del tronco.

Modelos probados

El perfil de los árboles se modeló a partir de seis modelos citados en la literatura, cuyas expresiones corresponden a ecuaciones lineales y no lineales (Cuadro 1). La selección se hizo por los buenos ajustes que tienen para el perfil de las trozas de las principales especies de pino que se desarrollan en el centro y norte de México (Torres *et al.*, 1993; Pompa, 1995; Rentería, 1995; Návar y Domínguez, 1997; Corral *et al.*, 1999).

Las expresiones que se probaron cumplen con la condición de que $d = 0$ cuando $H = h$, y pueden ser usadas para predecir diámetros (d) a cualquier altura de la troza (h), y el volumen entre dos diámetros o alturas del tronco.

Los modelos Demaerschalk (1972), Clutter (1980) y Biging (1984) describen el ahusamiento relativo como una función de la altura relativa, elevada a un cierto parámetro constante, con la salvedad de que en el último, el exponente varía a

medida que cambia la altura del tronco analizado; por su parte, los modelos de Kozak *et al.* (1969), Amidon (1984) y Rentería (1995) usan una ecuación polinómica válida para todo el tronco del árbol y es sencilla de ajustar.

Cuadro 1. Modelos seleccionados para comparación y obtención de la ecuación de ahusamiento.

No.	Autor	Modelo
(1)	Demaerschalk (1972)	$d = 10^{\beta_0} \cdot D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} \cdot (H - h)^{\beta_3}$
(2)	Kozak <i>et al.</i> (1969)	$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = \beta_0 \cdot \left(\left(\frac{h}{H}\right) - 1\right) + \beta_1 \cdot \left(\left(\frac{h}{H}\right)^2 - 1\right)$
(3)	Clutter (1980)	$d = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} \cdot (H - h)^{\beta_3}$
(4)	Biging (1984)	$d = D \left[\beta_0 + \beta_1 \cdot \ln \left(1 - \left(1 - \exp\left(\frac{\beta_0}{\beta_1}\right) \right) \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^{1/3} \right) \right]$
(5)	Amidon (1984)	$d = \beta_0 \cdot D \cdot \frac{H - h}{H - 1.3} + \beta_1 \cdot \frac{(H^2 - h^2) \cdot (h - 1.3)}{H^2}$
(6)	Rentería (1995)	$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = \beta_0 \left(\frac{H - h}{H}\right) + \beta_1 \left(\frac{H - h}{H}\right)^2 + \beta_2 \left(\frac{H - h}{H}\right)^3$

d = diámetro con corteza (cm) de la i -ésima sección a la altura h (cm); h = altura h de la i -ésima sección a partir del suelo (m); D = diámetro normal con corteza (cm); H = altura total del árbol (m); β_i = coeficientes de regresión a determinar mediante el ajuste.

Ajuste y comparación de los modelos

El ajuste de los modelos se realizó por el método de mínimos cuadrados ordinarios, para lo cual se usó el programa estadístico SAS/STAT® (Statistical Analysis System Institute Inc., 2004). Durante el proceso, normalmente aparecen algunos problemas estadísticos que de no corregirse violarían los supuestos básicos del análisis de regresión que asumen que los errores son independientes y

están distribuidos de modo idéntico. Según Kozak (1997), de estos inconvenientes, la colinealidad, la heterocedasticidad y la autocorrelación son los más importantes. Por lo tanto, en este trabajo se utilizaron métodos generalizados de regresión lineal y no lineal para modelar la estructura del error. Los trabajos de Monserud (1984), Goelz y Burk (1992, 1996, 1998) y Huang (1997) muestran aplicaciones prácticas de estos métodos. Los valores de la prueba del índice de condición factorial “*IFC*” (Gujarati, 2004), la prueba de Park “*P*” (Park, 1966), y estadístico de Durbin y Watson “*DW*” (Durbin y Watson, 1951), evidenciaron que la estimación final de los parámetros no estuviera afectada por problemas de colinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación, respectivamente.

Los criterios empleados para juzgar la bondad de ajuste de los modelos se basaron en un análisis numérico y gráfico de los residuos. El análisis numérico consistió en la comparación de cuatro estadísticos: el sesgo, la raíz del error medio cuadrático y el coeficiente de determinación ajustado y el índice de comparación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticos empleados para evaluar la bondad de ajuste de los modelos.

Sesgo	$\bar{E} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / n$
Raíz del error medio cuadrático	$REMC = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-p)}$
Coefficiente de determinación ajustado	$R_{adj}^2 = 1 - (n-1) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-p) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2$
Índice de comparación	$IC = \frac{\text{Max} \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} + \text{Max} \frac{y_i - \hat{y}_i}{h^1}}{n}$

y_i , \hat{y}_i y \bar{y} = valor observado, predicho y medio de la variable dependiente, respectivamente; n = número total de observaciones usadas para ajustar el modelo; p = número de parámetros del modelo; Max = máxima diferencia absoluta entre diámetros observados y estimados por árbol; h^1 = altura donde se presenta la máxima diferencia.

Índice de comparación.- Considera las máximas diferencias que destacan el peor ajuste del modelo en cada árbol, y se pondera por el diámetro y la altura donde se presenta esa diferencia, considerando que una diferencia dada no tiene el mismo efecto si está en la base, en la mitad o en la punta del fuste. Es así como valores

menores de IC indican mayor precisión del modelo y, por ende, en la estimación de diámetros a distintas alturas del fuste.

Aunque estos estadísticos y sus supuestos son buenos indicadores de la bondad global de ajuste de la función de ahusamiento, es conveniente una representación gráfica por secciones relativas de altura en el árbol. Según Castedo (2003), el modelado por posición es muy importante para decidir si en realidad la función de ahusamiento debe ser recomendada.

Para el análisis gráfico se examinaron diferentes manifestaciones de los datos experimentales y los residuos después del ajuste de los modelos. Estos gráficos constituyen una herramienta muy valiosa en la selección de un modelo ya que permiten identificar errores o comportamientos anormales (Rawlings, 1988; Neter *et al.*, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 3 muestra un resumen de los estadísticos descriptivos de los árboles incluidos en este estudio.

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos de los árboles incluidos en la muestra de estudio y utilizados en el ajuste de las ecuaciones de ahusamiento.

Variable	Número de observaciones	Media	Desviación estandar	Máximo	Mínimo
Altura Total (m)	319	18.7	4.9	39.9	4.0
Diámetro normal* (cm)	319	38.5	12.3	74.2	10
Altura h de la sección a partir del suelo (en m)	2230	9.0	7.4	39.9	0.1
Diámetro d concorteza (en cm) a la altura h	2230	26.3	16.8	91	0

* con corteza a la altura del pecho (1.3 m) en cm.

La Figura 2b ilustra las alturas relativas (h/H) frente a los diámetros relativos (d/D) de cada sección medida del tronco. La amplitud de los datos refleja la forma de los árboles que conformaron la muestra de interés.

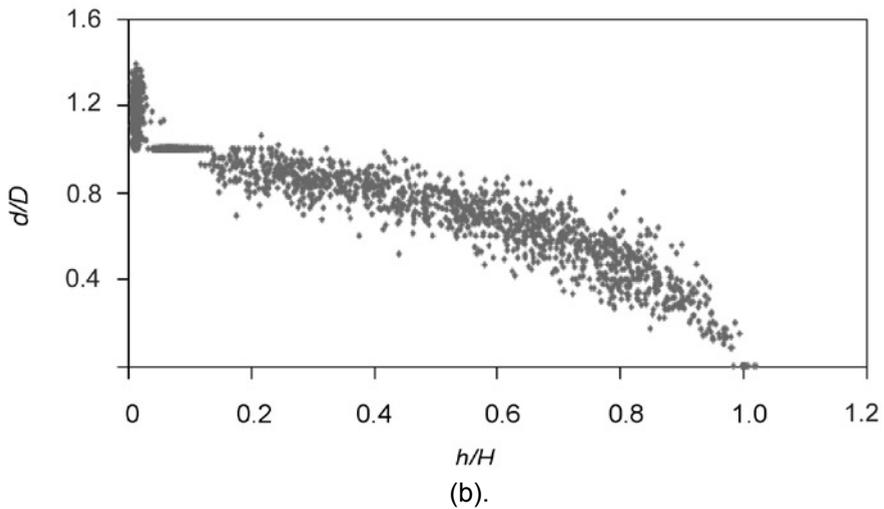
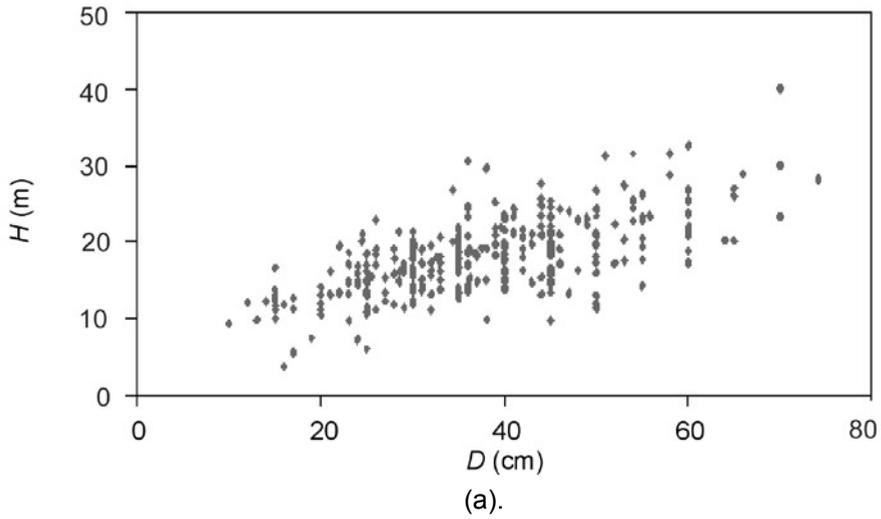


Figura 2. Dispersión de observaciones diámetro normal – altura (a). Dispersión de alturas relativas respecto a diámetros relativos de los 319 árboles incorporados al ajuste de las ecuaciones de ahusamiento (b).

Todas las estimaciones de los parámetros resultaron ser significativas al 99% de confianza. Aunque el ajuste de los modelos se realizó considerando distintas variables dependientes (algunos modelos predicen diámetros y otros diámetros relativos), los estadísticos de comparación fueron estimados tomando en cuenta una misma variable de este tipo. En este caso se despejó el diámetro (d) a una cierta altura como variable dependiente (Cuadro 4), ya que cuando se usa el diámetro relativo aparecen errores multiplicativos de acuerdo al valor del diámetro normal (D).

Cuadro 4. Comparación del ajuste de modelos de ahusamiento (con un nivel de significancia $Pr > |t| < 0.0001$).

Modelo	Parámetro	Estimación	Error		Estadísticas del ajuste		
			estandar	E	$REMC$	R^2_{adj}	IC
(1) Demaerschalk (1972)	β_0	1.2587	0.0402	0.049	3.416	0.94	0.3069
	β_1	0.9673	0.0104				
	β_2	-0.55341	0.0123				
	β_3	0.546502	0.0050				
(2) Kozak <i>et al.</i> (1969)	β_0	-1.4257	0.0263	0.1	3.41	0.94	0.281
	β_1	0.2237	0.0205				
(3) Clutter (1980)	β_0	1.25850	0.0402	0.049	3.416	0.94	0.3069
	β_1	0.96726	0.0104				
	β_2	-0.5532	0.0123				
	β_3	0.5464	0.0050				
(4) Biging (1984)	β_0	1.1935	0.00333	0.827	2.921	0.97	0.2312
	β_1	0.3023	0.00275				
(5) Amidon (1984)	β_0	1.0468	0.00317	0.310	3.721	0.98	0.3182
	β_1	1.3342	0.02131				
(6) Rentería (1995)	β_0	1.2931	0.0346	0.07	3.32	0.94	0.2514
	β_1	-0.9859	0.1187				
	β_2	0.9439	0.0912				

Con base en los resultados reunidos en el Cuadro 4, todos los modelos explican de manera adecuada el perfil del árbol; sin embargo, los de Biging (1984) y de Rentería (1995) muestran valores más bajos de la raíz del error medio cuadrático y el índice de comparación, explicando 97 y 94% de la varianza del diámetro d , respectivamente. Así, al discriminar los modelos contrastados con estadísticos de ajuste y el análisis gráfico de los residuos, el modelo de Biging (1984) resultó

ser el que presenta las mejores estimaciones y además no tiene problemas de colinealidad como lo demuestra el índice de condición factorial cuyo valor fue de 3.43.

Referente a la heterocedasticidad, el gráfico de los residuos frente a los valores predichos para el modelo seleccionado (Figura 3) y la prueba de Park (1966) evidenciaron la igualdad de varianza y que no hay relación estadísticamente significativa de los residuales con las variables explicatorias ($R^2 = 0.0203$). Así mismo, de acuerdo al estadístico de Durbin y Watson (1951), la autocorrelación serial de los residuos también es baja ($DW = 1.3563$).

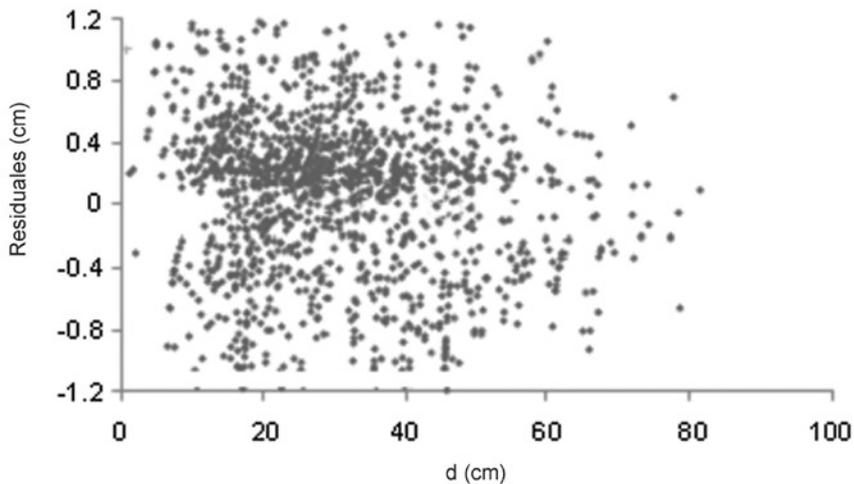


Figura 3. Gráfico de residuos frente a valores predichos del modelo de Biging (1984), usado para estimar diámetro d con corteza (cm) con relación con la altura h .

La prueba de normalidad de los residuos según el estadístico de Kolmogorov-Smirnov fue $D = 0.107417$ ($Pr > D < 0.0100$), lo cual indica que la normalidad se rechaza al 5% de significancia (no es satisfactoria), pero se acepta al 1%. Además, en la Figura 3 no hay ninguna tendencia sistemática en la distribución que lleven a un rechazo del modelo seleccionado, lo que implica que las pruebas de hipótesis son contundentes.

La Figura 4 ilustra el efecto que tiene el sesgo y el cuadrado medio del error a lo largo del fuste para los modelos (Biging, 1984 y Rentería, 1995). En los gráficos referidos, es evidente la bondad de sus estimaciones cuya conducta es similar y sólo se discriminan porque con el de Biging (1984) se obtiene una mejor determinación del perfil en la parte basal, donde se sitúa la mayor parte del volumen comercial; bajo tal criterio de operatividad práctica, se considera a este modelo como el más eficiente para predecir diámetros a diferentes alturas del fuste y, en consecuencia, para describir el ahusamiento de *Pinus arizonica* en la región de estudio.

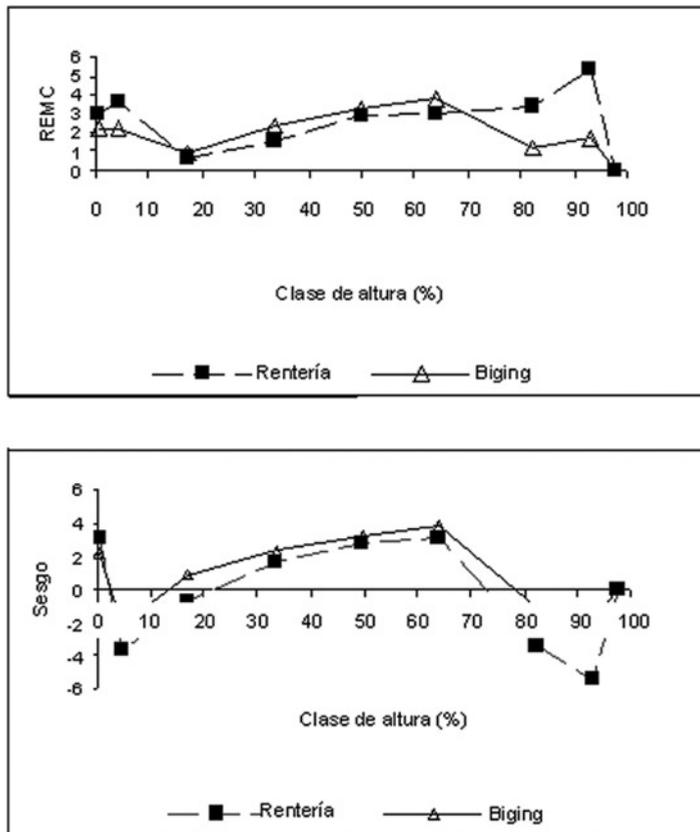


Figura 4. Comportamiento del sesgo y la raíz del error medio cuadrático a lo largo del fuste para las funciones de ahusamiento de Biging (1984) y Rentería (1995).

La Figura 5 ilustra la bondad de ajuste del modelo seleccionado para los valores observados de d a lo largo del fuste de uno de diez árboles escogidos al azar. Se aprecia que la función simula satisfactoriamente el perfil en la mayor parte del fuste; aunque disminuye su consistencia en la punta, donde aparece un ahusamiento difícil de modelar debido a factores como el tamaño de la copa (Corral *et al.*, 1999). Un comportamiento similar fue observado para los otros nueve árboles.

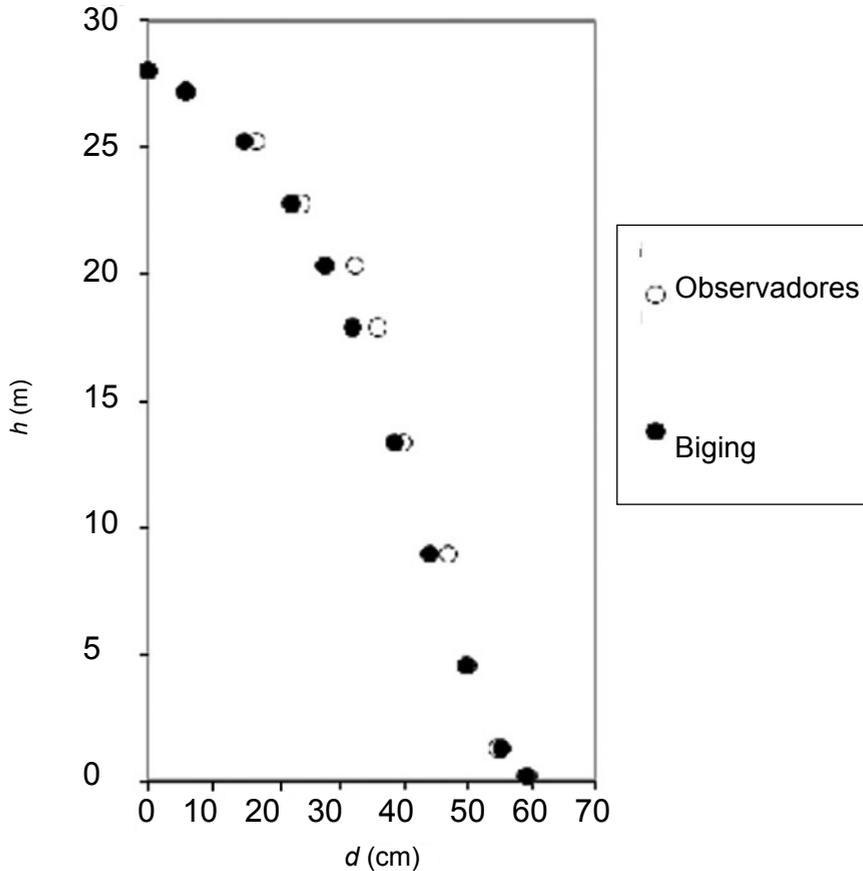


Figura 5. Gráfico del ajuste al perfil de un árbol obtenido con el modelo de Biging (1984) para *Pinus arizonica* Engelm.

De manera adicional al análisis gráfico se aplicó la prueba t de *student* para dos muestras pareadas o dependientes formadas por los valores observados y los valores predichos de los mismos 10 árboles (Devore, 1998). El resultado no mostró diferencias significativas entre los datos observados y estimados por el modelo seleccionado ($t = 1.77$; $gl = 77$; $p > t = 0.079$).

Con base en los resultados antes expuestos, la ecuación definida para la especie en estudio se presenta a continuación. En dicha expresión queda implícito el índice de esbeltez del fuste (H/D), mediante su inverso, es decir D/H , como una medida de la proporcionalidad de esas dimensiones. Además, cuando $h = H$, el diámetro estimado es cero, como lo indica la suma de sus coeficientes, por lo que cumple satisfactoriamente con esta propiedad.

$$d = D \left[1.1935 + 0.3023 \cdot \ln \left(1 - \left(1 - \exp \left(\frac{1.1935}{0.3023} \right) \right) \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^{1/3} \right) \right]$$

El modelo de Biging (1984) recomendado para *Pinus arizonica* tiene la importante ventaja de ser una función de ahusamiento compatible con una ecuación de volumen, de tal manera que cuando se integra, genera estimaciones de volumen comercial y total idénticas a las obtenidas por una expresión de volumen existente (Demaerschalk, 1972; Avery y Burkhart, 1983).

Conforme a los razonamientos anteriores, se procedió a integrar la ecuación de ahusamiento a fin de obtener una que tenga la flexibilidad para calcular tanto el volumen comercial a una altura límite o cualquier segmento del fuste, como el volumen total por árbol (Biging, 1984). Cuando $h = H$, la ecuación resultante corresponde a la de volumen total con un factor de forma constante, así se logra la compatibilidad con la ecuación de volumen del coeficiente mórfico uniforme, que es lo deseable.

$$V = \beta (D2H)$$

El modelo de Biging (1984) tiene además la ventaja de presentar sólo dos parámetros estadísticos con una variable, en contraste con los modelos polinomiales usados por Rentería *et al.* (1995) y Návar *et al.* (1997). Los resultados del estudio aquí descrito son afines a los de Corral *et al.* (1999), quienes concluyen que el modelo referido describe mejor el ahusamiento para especies comerciales de pino en una región similar.

CONCLUSIONES

De los seis modelos de ahusamiento probados para describir el perfil del trozo de *Pinus arizonica* en la parte suroeste del estado de Chihuahua, el de Biging fue el que presentó mejor capacidad predictiva; el modelado del diámetro por posición a lo largo del fuste fue un criterio determinante para seleccionarlo.

El modelo de Biging puede ser usado de manera confiable para predecir el diámetro a cualquier altura del trozo y la altura a cualquier diámetro del mismo. Tiene la importante ventaja de ser una función de ahusamiento compatible con la ecuación de volumen existente para el área de estudio.

Dada la solidez estadística del modelo seleccionado, constituye una herramienta fundamental para su aplicación en los inventarios forestales en la región de estudio, aunque no se descartan ajustes futuros derivados de su continua validación.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce el apoyo otorgado por Silvicultores Unidos de Guachochi, S. C. quienes motivados por generar una herramienta actualizada para sus inventarios forestales, apoyaron en la toma de datos de campo.

REFERENCIAS

- Amidon E., L. 1984. A general taper functional form to predict bole volume for five mixed conifer species in California. *For. Sci.* 30(1): 166-171.
- Avery T., E. and H. E. Burkhardt. 1983. *Forest measurements*. McGraw-Hill Co. New York, NY. USA. 331 p.
- Bi H. 2000. Trigonometric variable-form taper equations for Australian *Eucalyptus*. *For. Sci.* 46(3): 397-409.
- Biging G., S. 1984. Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *For. Sci.* 30(4): 1103-1117.
- Bruce D., R., O. Curtis and C. Vancoevering. 1968. Development of system and taper volume tables for red alder. *For. Sci.* 14(3): 339-350.
- Cao Q., V., H. E. Burkhardt and T. A. Max. 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *For. Sci.* 26(1): 71-80.
- Castedo D., F. 2003. Modelo dinámico de crecimiento para las masas de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, España. 297 p.

- Clutter J., L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volumen equations. *For. Sci.* 26(1): 117-120.
- Corral R., J. J., U. Diégues A., S. Corral R. and F. Castedo D. 2007. A merchantable volume system for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forest Ecology and Management* 238: 118-129.
- Corral R., S., J. J. Návar Ch. 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: 53-65.
- Cruz C., F., H. Santos P. y R. Valdez L. 2008. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. *Agrociencia* 42: 473-485.
- Demaerschalk, J. P. 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. *For. Sci.* 18(3):241-245.
- Devore, J. L. 1998. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencia. International Thomson Editores, S. A. de C. V. México, D. F. México. 711 p.
- Durbin, J. and G. S. Watson. 1951. Testing for serial correlation in least squares regression. *Biometrika*, Vol. 38:159-177.
- 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.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Offset Larios, S. A. 4a. edición. México, D. F. México. 217 p.
- Goelz, J. C., G. and T. E. Burk. 1992. Development of a well-behaved site index equation: jack pine in north central Ontario. *Can. J. For. Res.* 22(6): 776-784.
- Goelz, J. C., G. and T. E. Burk. 1996. Measurement error causes bias in site index equations. *Can. J. For. Res.* 26(9): 1585-1593.
- Goelz, J. C., G. and T. E. Burk. 1998. Long-term trends in height growth of jack pine in north central Ontario. *For. Sci.* 44(1): 158-164.
- Gujarati, D. 2004. Econometría. McGraw Hill Interamericana de México. México, D. F. México. 972 p.
- Huang, S. 1997. Development of a subregion-based compatible height-site index-age model for black spruce in Alberta. Alberta Land and Forest Service, For. Mgmt. Res. Note No 5, Pub No. T/352 Edmonton, Alberta, Canada. 23 p.
- Hilt, D. E. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volumen equations. *For. Sci.* 26(1): 117-120.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2004. Anuario Estadístico. Chihuahua. Carpetas de datos básicos estatales. Datos Básicos de Chihuahua. Dirección General de Estadística. <http://www.cuentame.inegi.gob.mx>. (7 de octubre de 2008).

- Kozak, A., D. D. Munro and J. H. G. Smith. 1969. Taper functions and their application in forest inventory. *For. Chron.* 45(4):278-283.
- Kozak, A. 1997. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. *Can. J. For. Res.* 27: 619-629.
- Max, T. A. and H. E. Burkhart. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *For. Sci.* 22(3):283-289.
- Monserud, R. A. 1984. Height growth and site index curves for inland Douglas-fir based on stem analysis and forest habitat type. *For. Sci.* 30(4): 943-965.
- Návar Ch., J. J. y P. 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.
- Neter, J., W. Wasserman and M. H. Kutner. 1990. *Applied linear statistical models*. Irwin Publishing. Homewood, IL. USA. 1181 p.
- Newnham, R. M. 1998. A variable-form taper function. Petawawa Nt. For. Inst. Information Rep. PI-X-83, Petawawa. Canada. 33 p.
- Ormerod, D. W. 1973. A simple bole model. *For. Chron.* 49: 136-138.
- Parresol B., R. and C. C. Thomas. 1996. A simultaneous density-integral system for estimating stem profile and biomass: Slash pine and Willow Oak. *Can. J. For. Res.* 26(5): 773-781.
- Park, R. E. 1966. Estimation with heterocedastic error terms. *Econometrica.* 34(4):888.
- Pompa G., M. 1995. Sistema de cubicación para el género *Pinus* en la UCODEFO # 7. "Norogachi-Guachochi", Chihuahua. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx. México. 105 p.
- Rawlings, J. O. 1988. *Applied regression analysis – A Research Tool*. Wadsworth, Belmont, CA. USA. 553 p.
- 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.
- Statistical Analysis System Institute Inc. (SAS). 2004. *SAS/ETS® 9.1 User's Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA. 2170 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2005. Control técnico de aprovechamientos. Listado electrónico. Delegación Federal de Chihuahua. Subdelegación de gestión para la protección ambiental y recursos naturales. <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniam.aspx>. (7 de octubre de 2008).
- Torres R., J. M., O. S. Magaña T. y A. Valles G. 1993. Funciones de ahusamiento para 8 especies forestales del Estado de México. *In: Memorias del 1er. Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales*. Saltillo, Coah. México. p. 15.

Zhang, L., C. Peng., S. Huang and X. Zhou. 2002. Development and evaluation of ecoregion-based tree height-diameter models for jack pine in Ontario. *For Chron.* 78(40): 530-538.

ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LA COBERTURA VEGETAL-USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

José Mauricio Galeana Pizaña¹, Nirani Corona Romero² y José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz³

RESUMEN

El Distrito Federal alberga a una de las ciudades con mayor densidad de población en el mundo; sin embargo, 58% de su territorio es considerado como suelo de conservación. El presente estudio se desarrolló en la cañada de la Magdalena Contreras al sur de la entidad, donde se realizó un análisis de la dimensión espacial por tipo de cobertura vegetal y uso del suelo; mediante el cruce de información geográfica se generó una matriz de las variables ambientales, que permitió hacer un análisis preciso de los componentes principales, al conocer la superficie y ubicación de cada una de las coberturas vegetales en función de la temperatura, precipitación, altitud, edafología y orientación respecto al sol. Se identificaron 20 clases, con una dominancia de *Abies religiosa*, que cubre 40%, del cual, 34% corresponde a bosque cerrado y 6% a bosque abierto. La segunda cobertura más frecuente es la de *Pinus hartwegii* con 20%, que comprende 10.8% de su territorio con dosel abierto y 9.68% cerrado. La tercera categoría es el ecotono de bosque de *A. religiosa-P. hartwegii* con 13.6%, del cual 12.95% registró densidad cerrada y 0.66% abierta. Por último, la cobertura de bosque de *P. hartwegii-A. religiosa* fue de 6.45%, el bosque mixto, 4.8% y el bosque de *Quercus*, 2%. Se diseñó el perfil altitudinal de vegetación y climas de la Cuenca del Río Magdalena.

Palabras clave: Análisis dimensional, bosques de la Ciudad de México, cobertura vegetal, Delegación Magdalena Contreras, matriz ambiental, uso del suelo.

Fecha de recepción: 31 de julio de 2008.

Fecha de aceptación: 11 de mayo de 2009.

¹ Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" A. C. Centro Geo, CONACYT. Correo-e: geomauricio23@gmail.com

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP.

ABSTRACT

Although Mexico City has one of the highest population densities worldwide, 58% of its territory has been catalogued as “conservation soil”. The present study carried out a spatial dimensional analysis – of both land use and vegetation cover type – of the area known as the “Magdalena Contreras” watershed. The analysis resulted in the identification of 20 different classes with a prevailing presence (40%) of *Abies religiosa* upon 34% of closed forest and 6% in of open forest type. The second most extended vegetation cover (20%) is that of *Pinus hartwegii* distributed as well in both open (10.8%) and closed (9.68%) forests. The third most extensive forest type (13.6%) is that conformed by the so-called ecotonal forest encompassing both *A. religiosa* and *P. hartwegii*, 12.95% of which is located in a closed forest and 0.66% in an open forest. At last, the closed forest conformed by *P. hartwegii* and *A. religiosa* represents a 6.45%, the mixed forest a 4.8% and the *Quercus* forest a 2%. By crossing geographic information generated a environmental matrix, which allowed for an environmental analysis of the key components needed, to know the area and location of each of the vegetation cover as a function of temperature, precipitation, elevation, edafology and aspect.

Key words: Dimensional analysis, Mexico city forests, vegetation cover, Magdalena Contreras, environmental matrix, land use.

INTRODUCCIÓN

El cambio en el uso del suelo y cobertura vegetal asociados a la fragmentación del hábitat es uno de los más severos efectos de las actividades antrópicas en la faz de la tierra (Soulé y Orians, 2001); es una de las principales causas del incremento de las tasas de extinción de especies en las décadas recientes (Henle *et al.*, 1996 citado por Soulé y Orians, 2001). Todas las estimaciones de la superficie afectada por estos fenómenos, son indicadores de un severo problema que se está acentuando y que tiene que ver directamente con el cambio en la cobertura vegetal hacia otro uso del suelo y el deterioro ambiental (Lambin, 1994; Ordóñez *et al.*, 2008).

Estudios relacionados a los cambios en la cobertura vegetal están teniendo una mayor atención debido esencialmente a las implicaciones de la deforestación (Brown y Lugo, 1994; Lund, 2000; Schlamadinger y Karjalainen, 2000). A nivel regional, dicho proceso genera la reducción de la cubierta vegetal, el detrimento de los recursos forestales, el deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y la desestabilización de cuencas; a nivel global altera el albedo y el balance de agua atmosférica, pudiendo afectar los patrones climáticos y contribuir al calentamiento global (Houghton, 1991; Lugo, 1992;

Whitmore, Meli 2003; Lund, 2006). Otra de las consecuencias es la reducción y fragmentación del hábitat (Meffe y Carroll, 1994; Murcia, 1995) con la consecuente disminución de la biodiversidad, y la eliminación de variabilidad genética de poblaciones y especies (Saunders *et al.*, 1991; Whitmore y Sayer, 1992; Brooks *et al.*, 2002) sumado a una clara pérdida de los servicios ambientales y bioculturales (Otegui-Acha, 2007).

Herramienta para el análisis del cambio en el uso del suelo

Actualmente las herramientas usadas para el estudio del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo emplean sistemas de información geográfica (SIG), los cuales fueron desarrollados en los años 70 a la par de las computadoras; esto permite el manejo de grandes volúmenes de datos. Lo que antes sólo se presentaba en mapas, se transformó a un formato digital para su análisis electrónico. Las capacidades más importantes que se generaron son: a) tener datos georreferenciados actualizados y b) integrar múltiples conjuntos y procesos de información, de manera rápida y eficiente (Aronoff, 1989).

En un sentido amplio, un sistema de información geográfica es cualquier conjunto manual o computarizado de procedimientos usados para almacenar y manipular datos georreferenciados. El almacenar datos en un SIG implica su ingreso al sistema, y su manipulación que concluiría con un mapa. A diferencia de otros sistemas que trabajan con este tipo de datos, los SIG tienen la capacidad de crear información mediante la integración; aunque no llegan a tener la del cerebro humano, esta cualidad les confiere una gran ventaja sobre los sistemas que sólo hacen representaciones con los datos, como lo son los cartográficos (Aronoff, 1989).

La implementación de sistemas de información geográfica, de percepción remota y de cartografía, como herramientas de automatización e integración para el manejo sustentable de los recursos naturales y el ordenamiento territorial de una comunidad, ocupan un lugar relevante porque fortalecen la evaluación y el monitoreo de los recursos, que es la base del desarrollo comunitario (Bocco *et al.*, 1996).

La percepción remota (fotografías aéreas e imágenes de satélite) amplía la capacidad de observación para la obtención de datos sobre un fenómeno con dimensión espacial; los sistemas cartográficos simbolizan los datos geográficos mediante mapas (en papel o digitales), mientras que los sistemas de información geográfica analizan y generan información a partir de esos datos.

La información que se genera por medio de los sistemas de percepción remota, como son las imágenes de satélite, ha sido aplicada a la evaluación de recursos y riesgos naturales, mediante los SIG. La clasificación espectral se ha utilizado, por ejemplo, en la detección y cuantificación de terrenos erosionados, con el supuesto de que éstos constituyen una clase espectral identificable; sin embargo, existe inconsistencia en la identificación de las clases, pues distintos objetos pueden tener una respuesta muy similar, esto ocurre también con los cuerpos de agua, debido a la gran cantidad de sedimentos que pueden contener. Por ello es muy importante la experiencia y el conocimiento del intérprete sobre el área (Bocco *et al.*, 1994).

El ordenamiento ecológico del territorio consiste en la integración de la relación entre la oferta ambiental (biótica y abiótica) y la demanda social; este proceso debe ser precedido por una serie de pasos metodológicos para que el ejercicio final de organización espacial sea efectivo (Bocco *et al.*, 1996). El ordenamiento ecológico basado en una regionalización con límites naturales conduce a un mejor entendimiento de los recursos bióticos tanto para fines de conservación, como de aprovechamiento (Bocco y Ortiz, 1994).

La integración de los SIG y los Modelos Ambientales (MA) es una propuesta analizada por Fedra (1993), quien dice que la sobreposición y relación entre las tecnologías, los métodos y los paradigmas de ambos campos, son una idea promisoría en la investigación científica actual, pues además de poder trabajar mejor y más rápido, surgen nuevos conceptos e ideas o un nuevo paradigma, que permiten hacer cosas diferentes.

Como las unidades básicas de los MA tienen una distribución espacial y ésta afecta considerablemente los procesos y dinámicas de sus interacciones, los SIG tienen una gran utilidad para la formulación de modelos ambientales y, al mismo tiempo, esta aplicación hace más atractivos a los SIG. Una integración profunda de los SIG y los MA permite a los especialistas liberarse de los problemas técnicos, para concentrarse en el reconocimiento de patrones emergentes, evaluaciones comparativas de alternativas complejas y en otras tareas como la valoración del impacto ambiental (Fedra, 1993).

Vegetación y uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena

El Distrito Federal es una de las megalópolis con mayor demanda habitacional y de infraestructura que ejercen una presión a la conversión de las coberturas vegetales. Aún así cuenta con 87,000 ha (58% de su territorio) consideradas como suelo de conservación (Fernández *et al.*, 2002), de las cuales 9.3%

corresponde a Áreas Naturales Protegidas de diferentes categorías (GDF, 2000). Dentro de la categoría de Zona Protectora Forestal, se localiza la Cañada de Contreras, ubicada en la Cuenca del Río Magdalena (CRM) (SEMARNAP, 1996).

Dicha cuenca se extiende sobre parte del suelo de conservación de las delegaciones Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, ocupando la primera, el mayor territorio (Figura 1). Se ubica en el suroeste del Valle de México, sobre la Sierra de las Cruces, misma que pertenece a la región fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal, dentro de las subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac (INEGI, 2005a; INEGI, 2005b; INEGI, 2005c; INEGI, 2005d). Sus coordenadas extremas son: $19^{\circ}17'52''$ y $19^{\circ}14'35''$ de latitud norte y $99^{\circ}20'18''$ y $99^{\circ}15'06''$ de longitud oeste (GDF, 2000).

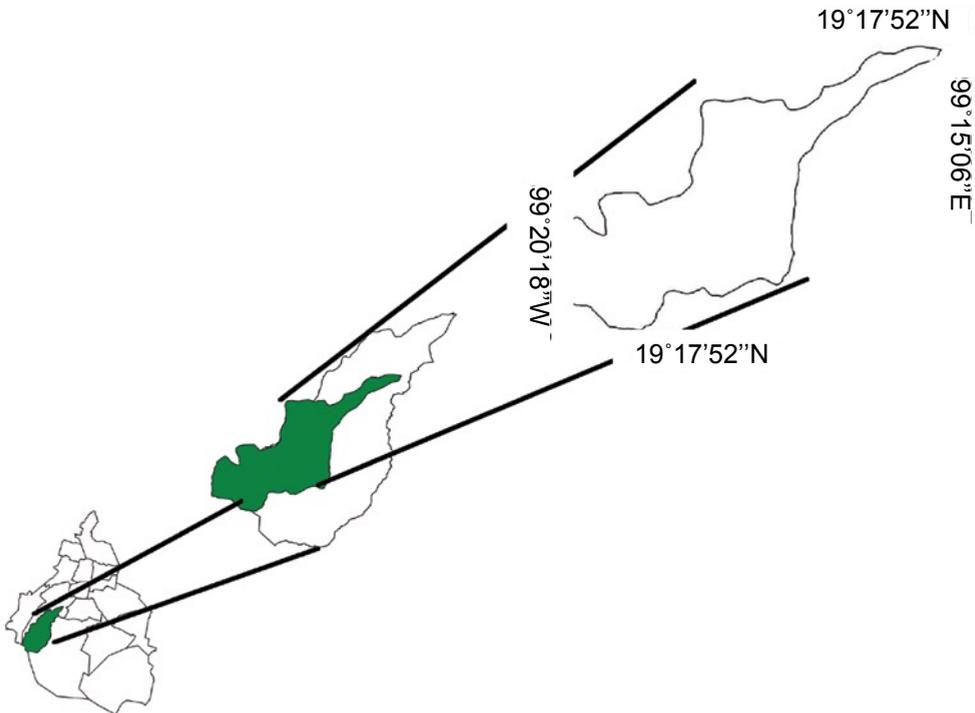


Figura 1. Localización de la Cuenca del Río Magdalena.

Tiene una superficie de 2,981.3 ha y presenta un relieve accidentado que va de los 2,480 a 3,860 msnm; ahí se desarrollan bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham., así como de *Pinus* spp., *Quercus* spp. y mixto. Los tipos de clima de la zona son templado subhúmedo [$C(w_2)(w)$] y semifrío subhúmedo [$C(e)(w_2)(w)$], ambos con lluvias en verano y los suelos de tipo andosol húmico (GDF, 2000).

La cuenca da vida al río Magdalena, que es uno de los cuerpos de agua más significativos de la ciudad, con un volumen permanente de $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, aproximadamente y funge como fuente de abastecimiento de agua potable (CNA, 1997). Además de la elemental función que desempeña la cuenca en la recarga del acuífero, también mitiga la contaminación ambiental al servir como reservorio de CO_2 (gas de efecto invernadero) y ayuda a la conservación de la biodiversidad al albergar un sin fin de especies animales y vegetales. Otro valioso servicio para la ciudadanía es el esparcimiento debido a la belleza escénica que resguarda.

La CRM enfrenta un sostenido proceso de degradación de sus recursos naturales, en particular el área contigua a la zona urbana, que está seriamente amenazada por los asentamientos humanos irregulares, perdiendo de manera constante los ecosistemas que brindan los servicios antes mencionados (Fernández *et al.*, 2002). Además, adolece de discrepancias normativas y del territorio que le es propio.

Sobre la Cañada de los Dinamos existen un acuerdo y un decreto; el primero es una declaratoria de Zona Protectora Forestal los Bosques de la Cañada de Contreras, D. F. del 27 de junio de 1932, que establece una superficie de 3,100 ha, correspondientes a terrenos forestales de la Hacienda de la Cañada y del Pueblo de la Magdalena (SEMARNAP, 1996). El segundo es un decreto presidencial a favor de la creación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal para la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre y se establece la Zona de Protección Forestal del río Magdalena el 19 de mayo de 1947 (SEMARNAP, 1996). Dicha región abarca una faja de 12 km de longitud desde el nacimiento del río aguas abajo con una anchura de 500 m (aproximadamente 1,200 ha) a cada lado del cauce (Fernández *et al.*, 2002).

Por otra parte, el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, publicado oficialmente en el año 2000, contradice tanto al acuerdo como al decreto mencionados, ya que define como área natural protegida una superficie de 215 ha con categoría de zona protectora forestal. Además de las contradicciones jurídicas, el área natural protegida del río Magdalena exhibe un importante traslape con una presunta propiedad privada, el predio La Cañada de 111.8 ha (GDF, 2000).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es generar un mapa de vegetación y uso de suelo en el que se aprecie la distribución de las diferentes coberturas vegetales y la superficie que ocupa cada una de ellas; aunado al análisis de la correlación con las variables ambientales de la CRM, a fin de que pueda ser un elemento clave en la toma de decisiones para la conservación, manejo y uso de los recursos naturales de la zona y las estrategias a seguir en su ordenamiento territorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el diagrama de flujo que se presenta a continuación, se indican las actividades que se llevaron a cabo para desarrollar el estudio (Figura 2).

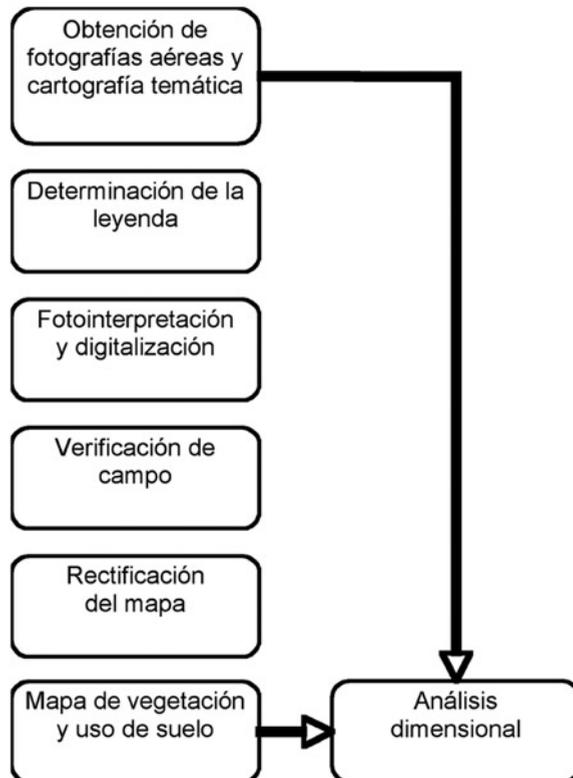


Figura 2. Esquema de las actividades realizadas para el desarrollo del estudio.

Elaboración del mapa de vegetación y uso de suelo

Las clases de cobertura vegetal y uso de suelo para la elaboración del mapa, se definieron con base en los criterios del reporte técnico del Inventario Nacional Forestal (INF) del año 1994, que divide a los bosques a partir de su cobertura de copa, del 10 al 40% de su superficie como abierto y una cobertura mayor al 40% como cerrado (SARH, 1994), identificando las mismas categorías de cobertura vegetal y uso de suelo. Para fines de este mapa, dichas clases fueron reagrupadas en 26 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clases de cobertura vegetal definidas en el presente estudio y su correlación con las clases establecidas por el Inventario Nacional Forestal de 1994.

Clases en este estudio	Claves	Clases del INF
Agricultura	AGR	Agricultura de riego Agricultura de temporal
Asentamientos humanos	AS	Zona urbana
Bosque de <i>Abies religiosa</i> abierto	BA1	Bosque de oyamel abierto
Bosque de <i>A. religiosa</i> cerrado	BA2	Bosque de oyamel cerrado
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus hartwegii</i> abierto	BA-Ph1	Bosque de otras coníferas abierto
Bosque de <i>A. religiosa-P. hartwegii</i> cerrado	BA-PH2	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus</i> sp. abierto	BA-Psp1	Bosques de otras coníferas abierto
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus</i> sp. cerrado	BA-Psp1	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>A. religiosa-Quercus</i> sp. abierto	BA-Q1	Bosques de otras coníferas abierto
Bosque de <i>A. religiosa-Quercus</i> sp. cerrado	BA-Q2	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>Quercus</i> sp. abierto	BQ1	Bosque de encino abierto

continúa...

continuación Cuadro 1...

Clases en este estudio	Claves	Clases del INF
Bosque de <i>Quercus</i> sp. cerrado	BQ2	Bosque de encino cerrado
Bosque de <i>Quercus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> abierto	BQ-A1	Bosques de otras coníferas abierto
Bosque de <i>Quercus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> cerrado	BQ-A2	Bosque de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>P. hartwegii</i> abierto	BPh1	Bosque de pino abierto
Bosque de <i>P. hartwegii</i> cerrado	BPh2	Bosque de pino cerrado
Bosque de <i>Pinus</i> sp. abierto	BPsp1	Bosque de pino abierto
Bosque de <i>Pinus</i> sp. cerrado	BPsp2	Bosque de pino cerrado
Bosque de <i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> abierto	BPh-A1	Bosque de otras coníferas abierto
Bosque de <i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> cerrado	BPh-A2	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>Pinus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> abierto	BPsp-A1	Bosques de otras coníferas abierto
Bosque de <i>Pinus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> cerrado	BPsp-A2	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque mixto	BM	No considerado
Cuerpos de agua	H ₂ O	Cuerpos de agua
Pastizal	PAS	Pastizal inducido
Plantación forestal	REF	Plantación forestal

Las fotografías aéreas proceden de un vuelo efectuado en enero del 2005 con dirección norte-sur y a escala 1:10,000. La fotointerpretación se hizo mediante el método de observación con ejes paralelos con ayuda de un estereoscopio de espejos marca Zeiss. La clasificación de la vegetación se basó de acuerdo con la leyenda antes definida. La digitalización del mapa se hizo en pantalla usando el software Autocad Map 2002 y la base de datos en ArcGis 9.2 m.

Se realizó un cruce de información del mapa de vegetación y uso de suelo con un modelo digital del terreno y con los mapas temáticos de: clima, temperatura, precipitación, suelo y orientación, y se determinó el área de cada clase.

RESULTADOS

Mapa de vegetación y uso de suelo

Las superficies cubiertas por cada una de las clases de cobertura vegetal y uso de suelo se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Áreas de las clases de la cobertura vegetal y uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena.

Clases	Superficie (ha)	Porcentaje
Agricultura	31.98	1.07
Asentamientos humanos	99.60	3.34
Bosque de <i>A. religiosa</i> abierto	183.08	6.14
Bosque de <i>A. religiosa</i> cerrado	1012.09	33.95
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus hartwegii</i> abierto	19.69	0.66
Bosque de <i>A. religiosa-P. hartwegii</i> cerrado	386.21	12.95
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus</i> sp. abierto	16.49	0.55
Bosque de <i>A. religiosa-Quercus</i> sp. cerrado	11.38	0.38
Bosque de <i>Quercus</i> sp. cerrado	59.73	2.00
Bosque de <i>Quercus</i> sp.- <i>Pinus</i> sp. cerrado	17.27	0.58
Bosque de <i>P. hartwegii</i> abierto	322.14	10.80
Bosque de <i>P. hartwegii</i> cerrado	288.56	9.68
Bosque de <i>P. hartwegii-A. religiosa</i> cerrado	192.19	6.45
Bosque de <i>Pinus</i> sp. abierto	20.57	0.69
Bosque de <i>Pinus</i> sp. cerrado	6.47	0.22

continúa...

Continuación cuadro 2...

Clases	Superficie (ha)	Porcentaje
Bosque de <i>Pinus</i> sp. cerrado	6.47	0.22
Bosque de <i>Pinus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> cerrado	12.21	0.41
Bosque Mixto	143.24	4.80
Cuerpos de agua	0.17	0.01
Pastizal	164.15	5.51
Plantación forestal	6.51	0.22
Total	2981.53	100

En la cuenca del Río Magdalena *Abies religiosa* tiene dominancia y cubre 40% de su superficie, 34% en su porción de bosque cerrado y 6% en el bosque abierto. La segunda cobertura más frecuente en la cuenca es la de *Pinushartwegii* Lindl. con 20%, integrada por 10.8% de bosque abierto y 9.68% de bosque cerrado. La tercera categoría en ocurrencia es el ecotono de bosque de *Abies religiosa-Pinus hartwegii* con 13.6%, del cual 12.95% presenta densidad cerrada y 0.66%, densidad abierta. Por último, las coberturas de bosque de *Pinus hartwegii-Abies religiosa* cerrado ocupan 6.45%; el bosque mixto, 4.8% y el bosque de *Quercus*, 2%. El resto de las clases de cobertura vegetal se hallan en machones aislados y no representan más de 3% de la cuenca del Río Magdalena. En cuanto a las categorías de uso de suelo, los pastizales son la primera clase en cobertura con 5.5% de la superficie del área de estudio, seguida de los asentamientos humanos con 3.3% y, por último, las zonas de agricultura con 1% (Cuadro 2).

El mapa con las diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo (CVUS) se muestra en la Figura 3; para validar cada una de las diferentes CVUS se tomaron 266 puntos de verificación en campo usando tres GPS y cotejando simultáneamente en el mapa de cobertura vegetal con las especies identificadas, para realizar la comparación *vis a vis*.

A partir de la información generada por cada una de las variables ambientales (altitud, clima, tipo de vegetación, temperatura, precipitación, suelo y orientación), se realizó un cruce espacial de cada una de ellas con las clases de cobertura vegetal y uso del suelo. De ello se obtuvo la matriz reunida en el Cuadro 3. Para conocer la distribución altitudinal de la vegetación con respecto al clima en la cuenca, se elaboró un perfil longitudinal con base en el mapa de vegetación y uso de suelo (Figura 4), donde se integró el clima (señalado con diferentes colores).

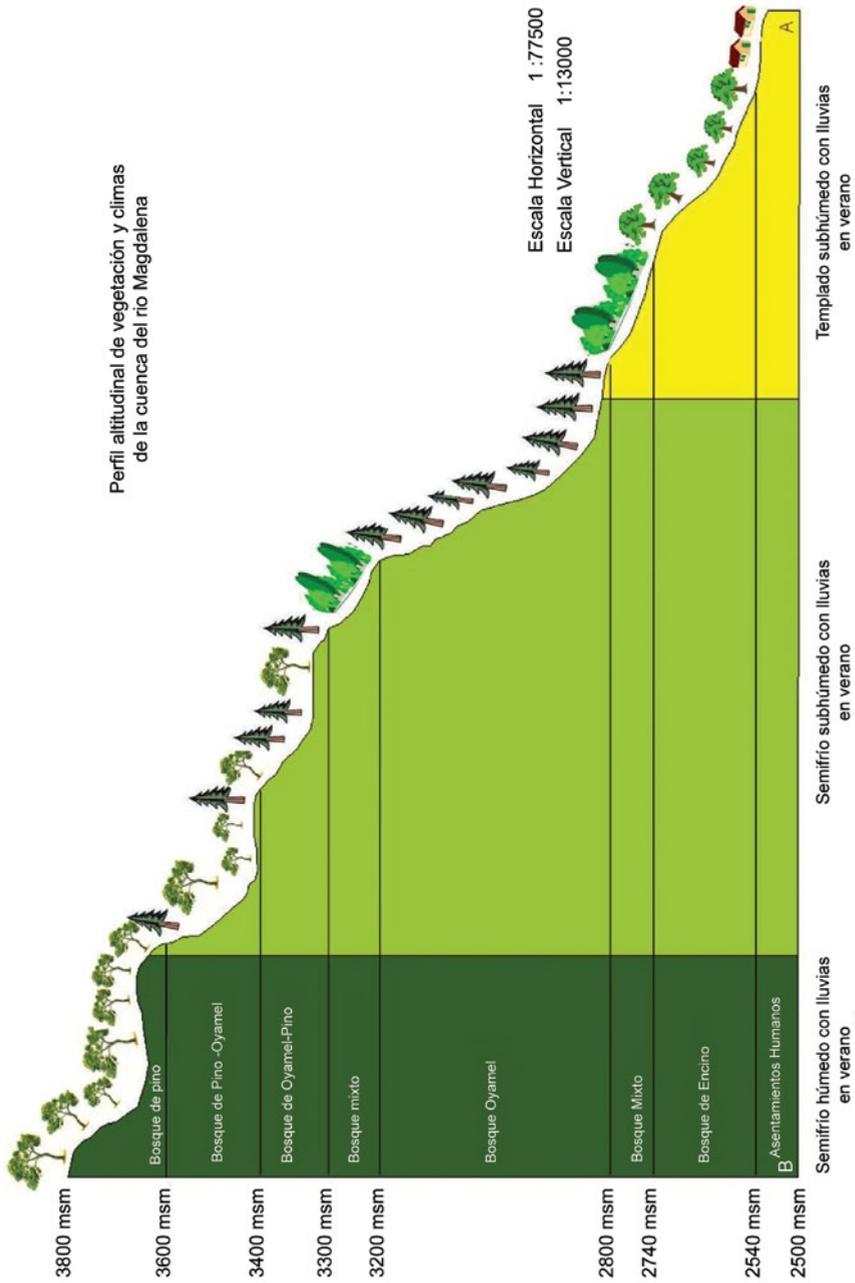


Figura 4. Perfil longitudinal de la Cuenca del Río Magdalena.

Cuadro 3. Matriz de las variables ambientales registradas en la cuenca del Río Magdalena.

Clase	Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Suelo	Orientación	Área (%)
Agricultura	Parcelas	C(w ₂)(w)	10-13	1,000-1,200	Litosol		
Asentamientos humanos	2,700-3,200	C(e)(w ₂)(w)			Fezoem	E-N	31.98(1.07)
	2,480-3,050	C(w ₂)(w)	11-15	900-1,200	Feozem háplico	Heterogénea	99.60(3.34)
		C(e)(w ₂)(w)			Andosol húmico		
Bosque de <i>Abies religiosa</i> abierto	2,800-3,200	C(e)(w ₂)(w)	9-13	1,100-1,200	Andosol húmico	N - NE- NW	183.08 (6.14)
Bosque de <i>Abies religiosa</i> cerrado	2,800-3,200	C(e)(w ₂)(w)	9-13	1,100-1,200	Andosol húmico	N - NE- NW	1012.09 (33.95)
Bosque de <i>Abies religiosa-Pinus hartwegii</i> abierto	3,100-3,600	C(e)(w ₂)(w)	9-11	1,250	Andosol húmico	Heterogénea	19.69(0.66)
Bosque de <i>Abies religiosa-Pinus hartwegii</i> cerrado	3,100-3,600	C(e)(w ₂)(w)	9-11	1,250	Andosol húmico	Heterogénea	386.21(12.95)
Bosque de <i>Abies religiosa-Pinus sp.</i> abierto	3,450-3,500	C(e)(w ₂)(w)	11	1,250	Andosol húmico	S-SE	16.49 (0.55)

continúa...
Continúa cuadro 3...

Clase	Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Suelo	Orientación	Área (%)
Bosque de <i>Abies religiosa</i> - <i>Quercus</i> cerrado	2,750	C(w ₂)(w)	13	1,100	Andosol húmico	N-NW	11.38 (0.38)
Bosque de <i>Quercus</i> spp. cerrado	2,500-2,700	C(w ₂)(w)	13-14	1,000-1,100	Litosol Feozem háplico Andosol húmico	S-SE	59.73(2.00)
Bosque de <i>Quercus-Pinus</i> sp. cerrados	2,500-2,600	C(w ₂)(w)	13-14	1,000	Andosol húmico	N	17.27 (0.58)
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> abierto	3,400-3,860	C(e)(w ₂)(w) C(e)(m)(w)	9-10	1,250	Andosol ocríco Andosol húmico	S-E-SE	322.14(10.80)

continúa...

Continúa cuadro 3...

Clase	Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Suelo	Orientación	Área (%)
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> cerrado	3,500-3,860	C(e)(w ₂)(w) C(e)(m)(w)	10	1,250	Andosol ocríco Andosol húmico	S-E-SE-N	288.56 (9.68)
Bosque de <i>Pinus hartwegii-Abies religiosa</i> cerrado	3,500-3,600	C(e)(w ₂)(w)	9-10	1,200	Andosol húmico Andosol mólico Litosol	Heterogénea	192.19(6.45)
Bosque de <i>Pinus</i> sp. abierto	3,100-3,450	C(e)(w ₂)(w)	11-12	1,100-1,200	Andosol húmico	S-SE	20.57 (0.69)
Bosque de <i>Pinus</i> sp. cerrado	2,950	C(e)(w ₂)(w)	13	1,100	Andosol húmico	E-SE	6.47 (0.22)

continúa...

Continúa cuadro 3...

Clase	Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Suelo	Orientación	Área (%)
Bosque de <i>Pinus sp.</i> - <i>Abies religiosa</i> cerrado	3,100-3,500	C(e)(w ₂)(w)	11-12	1,200	Andosol húmico	S-SE	12.21 (0.41)
Bosque Mixto	2,700-3,100	C(e)(m)(w) C(e)(w ₂)(w)	11-13	1,100-1,200	Andosol húmico Litosol	S-SW	143.24 (4.80)
Cuerpos de agua (presa)	3,545	C(e)(w ₂)(w)	10	1,270	Andosol húmico	NE	0.17 (0.01)
Pastizal	2,450-3,750	C(w ₂)(w) C(e)(w ₂)(w) C(e)(m)(w)	9-15	1,000-1,300	Andosol	Heterogénea	164.15(5.51)

DISCUSIÓN

Las características ambientales y geomorfológicas de la cuenca favorecen la dominancia del bosque de *Abies*, que cubre 40% de la superficie total del área de estudio en rodales puros; se aprecia que se ubican ampliamente siguiendo una orientación norte, noreste y noroeste, en la que presentan cuatro coberturas dominantes derivadas de los ecotonos con *Pinus* sp. (14%) y *Quercus* spp., (0.4%) en sus respectivas densidades (abierto y cerrado) con orientaciones heterogéneas.

Los bosques de *Pinus hartwegii* cubren 20% de la superficie del área de estudio en rodales puros; se distribuyen hacia el sur, este y sureste preferentemente y abarca 6.5% del área en su ecotono con *Abies religiosa* (HBK.) Schtdl. et Cham. Se observa la existencia de otras especies del género *Pinus* que fueron inducidas por campañas de reforestación (1.2%).

El bosque de *Quercus* spp. ocupa 2% del área de estudio y su ecotono con *Pinus* sp., 0.6%. En el bosque de *Quercus* spp. se encontraron determinadores propios de un bosque mesófilo (*Garrya laurifolia* Hartw. ex Benth., *Quercus laurina* Humb et Bonpl. y *Clethra mexicana* DC.), lo que concuerda con lo que se reporta en el Inventario Forestal del Edo. de Méx. y D. F. (SAG, 1974). En 34 años este bosque ha ido perdiendo sus condiciones prístinas, quedando en la actualidad sólo especies que dan indicio de que estuvo presente. Este proceso de extinción se puede deber al crecimiento de la mancha urbana y al incremento de la densidad poblacional; a la introducción de especies exógenas o posibles disturbios de las condiciones microclimáticas necesarias para la permanencia de ese tipo de vegetación. El costo para su restauración es muy alto y seguramente no es prioritario.

El bosque mixto abarca una superficie del área de estudio del 4.8%, al no contar con datos de crecimiento de latifoliadas, no se incluyó el análisis de esta cobertura en esta primera etapa del proyecto, al igual que el área clasificada como pastizal que abarca 5.5% de la superficie estudiada y el área agrícola que se extiende 1% de ésta (Cuadro 3).

Se ha observado la transformación del ecosistema derivada del crecimiento de la mancha urbana; en este sentido se aprecia un área de afectación del 3.3%, distribuida principalmente del borde donde comienza la cuenca con rumbo sur hasta el Segundo Dinamo, lo que ha propiciado la improvisación de drenajes y de tomas de agua. El resultado ha sido el deterioro continuo de las coberturas y la afectación del Río Magdalena.

El cruce de información que genera la matriz de las variables ambientales registradas y los mapas, permiten realizar un análisis ambiental preciso y rápido de los componentes principales; al conocer la superficie que ocupa cada una de las clases analizadas, saber dónde y cómo se distribuyen en el espacio geográfico, aunado a la temperatura, orientación, relieve, tipo de suelo y precipitación, que en su conjunto, hacen posible concretar el análisis de la dimensión espacial en la cuenca por tipo de cobertura vegetal y uso del suelo.

El relieve y el clima son los elementos que más influencia ejercen en la adaptación de los tipos de vegetación y su ubicación. En términos ecológicos, el factor más importante para el desarrollo de las plantas es el agua, y en particular la humedad; dicho factor está ligado a la exposición de las laderas en la que éste se encuentre así como la unidad geomorfológica.

CONCLUSIONES

La distribución de la vegetación en la cuenca del Río Magdalena obedece a múltiples factores ambientales, entre los cuales destacan el relieve, el clima (temperatura y precipitación), el suelo y la exposición (humedad).

De seguir las tendencias actuales de los programas de reforestación en la cuenca del Río Magdalena, se puede dar origen a nuevas coberturas forestales, favoreciendo la dominancia de especies exógenas. El género *Pinus* es el que más se planta en todas la coberturas, lo que se puede deber a la ignorancia, a una estrategia futura para vender sus productos maderables, o porque quizás reúne a las especies que más se producen en los viveros cercanos; pero independientemente de dichas razones, se está dando lugar a cambios en la composición y estructura de estos bosques. Existen indicios de la existencia previa de bosque mesófilo en la parte baja de la cuenca, que ya no existe.

Conocer la distribución de las diferentes coberturas vegetales y su relación con las variables ambientales, ayuda a vislumbrar los elementos limitantes o determinantes que permiten tomar en cuenta acciones para desarrollar estrategias de planeación del territorio, encaminadas al manejo de los recursos naturales; ayuda también a identificar áreas susceptibles de ser vulnerables a los diferentes procesos que ocurren derivados del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo, la presión de la transformación del paisaje por el crecimiento de la mancha urbana, el cambio climático y la pérdida de los servicios ambientales que ahí ocurre.

AGRADECIMIENTOS

Al Biól. Armando Peralta del Instituto de Geografía de la UNAM por la información proporcionada para el desarrollo del presente estudio; a la Dra. María de Jesús Ordóñez del Centro Regional de Investigación Multidisciplinaria de la UNAM por las fotografías aéreas; a Mercedes Otegui de Pronatura México, A. C., por su traducción y comentarios; a David León y Gabriela Aguirre, estudiantes de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM; a Guillermo Martínez, Juan Briones y Gerardo Pantoja estudiantes de la Facultad de Ciencias de la UNAM por su colaboración en el trabajo de campo. Este estudio fue financiado en parte por el proyecto UNAM: 20993-1498-5-XI-07; INE: INE/A1-055/2007, "Comportamiento y distribución de las plagas de importancia económica en el sector forestal ante un cambio climático en México".

REFERENCIAS

- Aronoff, S. 1989. Geographic information systems: a management perspective. WDL Publications. Ottawa, Canada. pp. 31-45.
- Bocco, G., A. Velázquez, A. Torres y A. Chávez. 1996. Evaluación automatizada del paisaje, biodiversidad y ordenamiento territorial en la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Taller Trabajo en Comunidades. Manejo ambiental integral en comunidades. Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 7 p.
- Bocco, G. y M. A. Ortiz. 1994. Definición de unidades espaciales para el ordenamiento ecológico. *Jaina* 5 (1): 8-9.
- Brown, S. and A. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restorat. Ecol.* 2: 97-111.
- Brooks, T., R. Mittermeier, C. Mittermeier, G. Da Fonseca, A. Rylands, W. Konstant, P. Flick, J. Pilgrim, S. Oldfield, G. Magin and C. Hilton-Taylor. 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Cons. Biol.* 16: 909-923.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1997. Estudio de saneamiento del río Magdalena, Delegación La Magdalena Contreras, Distrito Federal. Gerencia Regional de Aguas del Valle de México. Subgerencia de Calidad del Agua e Impacto Ambiental. México, D. F. México. 217 p.
- Fedra, K. 1993. GIS and environmental modeling. *In*: Goodchild, M. F., B. O. Parks and L. T. Steyaert (Eds.). *Environmental modeling with GIS*. Oxford University Press. New York, NY. USA. pp. 35-50.
- Fernández E., A., F. Uribe, I. Ramírez, B. Apolinar y A. Vázquez. 2002. Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la

- Cañada de los Dinamos. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. Gaceta Ecológica. No. 62. México, D. F. México. pp. 56-67.
- Gobierno del Distrito Federal. 2000. Programa General del Ordenamiento Ecológico 2000 – 2003. Secretaría de Medio Ambiente. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Dirección Ejecutiva de Ordenamiento Ecológico. México, D. F. México. 133 p.
- Houghton, R. A. 1991. Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. *Climatic Change* 19: 99-118.
- Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005a. Distrito Federal, Cuaderno estadístico delegacional: Álvaro Obregón. Referencias Generales. Aspectos Geográficos. México, D. F. México. 16 p.
- Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005b. Distrito Federal, Cuaderno estadístico delegacional: Cuajimalpa de Morelos. Referencias Generales. Aspectos Geográficos. México, D. F. México. 16 p.
- Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005c. Distrito Federal, Cuaderno estadístico delegacional: Magdalena Contreras. Referencias Generales. Aspectos Geográficos. México, D. F. México. 16 p.
- Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005d. Distrito Federal, Cuaderno estadístico delegacional: Tlalpan. Referencias Generales. Aspectos Geográficos. México, D. F. México. 16 p.
- Lambin, E. F. 1994. Modelling deforestation processes: a review. *Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites. TREES Series B, Research Report No. 1. Office of the European Commission, Directorate-General XIII. Luxembourg, Luxembourg.* 113 p.
- Lugo, A. 1992. Tropical forest uses. *In: Downing, T. E., S. B. Hecht, H. A. Pearson and C. García Downing (Eds.). Development or Destruction.* Westview Press. San Francisco, CA. USA. pp. 117-132.
- Lund, H. 2000. Definitions of forest, deforestation, afforestation, and reforestation. <http://home.att.net/~gklund/>. (mayo 16, 2002).
- Lund, H. 2006. National forest inventories and global resource assessments. *In: Forest and Forest Plants, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).* EOLSS Publishers, Ltd. Oxford, UK. pp. 29-65
- Meffe, G. and C. Carroll. 1994. *Principles of conservation biology.* Sinauer Associates, Inc. Stamford, CT. USA. pp. 237-264.
- Meli, P. 2003. Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia* 28(010): 581-589.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 10: 58-62.
- Ordóñez, J. A. B., B. H. J. de Jong, F. García-Oliva, F. L. Aviña, J. V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez and O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in

- the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*. Vol. 255 (7): 2074-2084.
- Otegui-Acha, M. 2007. Developing and testing a methodology and tools for the inventoring of sacred natural sites of indigenous and traditional peoples in Mexico. ALCOA, UICN, Pronatura México A. C., Fundación Rigoberta Menchu Tum. México, D. F. México. 109 p.
- Saunders, D, R. Hobbs and C. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Cons. Biol.* 5: 18-32.
- Schlamadinger, B. and T. Karjalainen. 2000. Afforestation, reforestation, and deforestation (ARD) activities. *In: Land Use, Land Use Change, and Forestry - A Special Report for the IPCC*. Chapter 3. Cambridge Press. New York, NY. USA. pp. 127-180.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). 1974. Inventario Forestal del Estado de México y Distrito Federal. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. México, D. F. México. 82 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. México, D. F. México. 81p.
- Soulé, M. and G. Orians. 2001. *Conservation biology: research priorities for the next decade*. Island Press. Sunderland, MA. USA. 127 p.
- Whitmore, T. 1997. *Tropical forest disturbance, disappearance and species loss*. Clarendon Press Ltd. Oxford, UK. 282 p.
- Whitmore, T and J. Sayer. 1992. Deforestation and species extinction in tropical forest. *In: Tropical deforestation and species extinction*. IUCN. Chapman and Hall, Ltd. London, UK. pp. 1-14.

TABLAS DE PRODUCCIÓN PARA EL INVENTARIO DE CORTADILLO (*Nolina cespitifera* Trel.) EN EL SURESTE DE COAHUILA

David Castillo Quiroz¹, J. Trinidad Sáenz Reyes², Luis Mario Torres Espinosa¹ y David Sánchez Aspeytia¹

RESUMEN

Nolina cespitifera es un recurso forestal no maderable de las zonas áridas y semiáridas del sur de Coahuila y Nuevo León y del norte de Zacatecas. La fibra de las hojas de esta planta se aprovecha para fabricar escobas. El objetivo de este trabajo fue validar la tarifa y elaborar tablas de producción por los tipos de vegetación del sureste de Coahuila: matorral desértico rosetófilo, transición izotal-pastizal, bosque de pino-encino y bosque de encino. Para ello se muestrearon 600 plantas en todos los tipos de vegetación; se hizo un análisis basado en pruebas de: homogeneidad de varianzas y de medias, y la comparación de la pendiente del modelo con el cual se generó la tarifa, contra la correspondiente a los datos de las plantas estudiadas, así como con la pendiente de los modelos por tipos de vegetación. Los resultados indican que se requieren ajustes al modelo predictor y la elaboración de tablas de producción por cada comunidad vegetal. Estas se obtuvieron con análisis de regresión y correlación, en los que la variable dependiente fue el peso en verde de las hojas y las variables independientes, altura, diámetro promedio basal, área basal y volumen. Los modelos seleccionados a partir de los análisis de varianza, máximo coeficiente de determinación, mínimo cuadrado medio del error, menor coeficiente de variación, fueron: $Y = 0.18487(\text{Vol})^{0.6552}$ (matorral desértico rosetófilo), $Y = 0.05573(\text{Vol})^{0.7351}$ (transición entre izotal y pastizal), $Y = 0.00958(\text{Vol})^{0.9031}$ (bosque de pino-encino) y $Y = 0.1016(\text{Vol})^{0.7506}$ (bosque de encino).

Palabras clave: Cortadillo, inventario, *Nolina cespitifera*, tablas de producción, zonas áridas y semiáridas.

Fecha de recepción: 12 de marzo de 2008.

Fecha de aceptación: 13 de mayo de 2009.

¹ Campo Experimental Saltillo, Centro de Investigación Regional Noreste, INIFAP. Correo-e: castillo.david@inifap.gob.mx

² Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP.

ABSTRACT

Cortadillo (*Nolina cespitifera*) is a non-timber forest resource of the arid and semiarid zones of Northeastern Mexico, specifically of South Coahuila and Nuevo Leon states and the Northern part of the state of Zacatecas. Fiber obtained from the leaves of this plant is used, combined with tassels of sorghum, to manufacture brooms. The objective of this work was to validate an existing production tariff and to develop tables for cortadillo leaf production by type of vegetation: rosetophyllous desert scrub, grassland-yucca transition, pine-oak forest and oak forest. 600 plants was sampled along all vegetation types and the following statistical analyses were performed: homogeneity of variances, homogeneity of means and a comparison of the slope of the previously existing model versus the one generated with our data from the sampled plants, as well as with the slope of models generated for the plants of each vegetation type. Preliminary results showed that the model required to be adjusted and that tables of production needed to be developed for each vegetation community. These tables were generated by means of regression analyses and correlation, with fresh weight of leaves as the dependent variable, and height of plant, mean basal diameter, basal area, and volume as independent variables. Models were selected based on analysis of variance, maximum determination coefficient, minimum mean square of error and minimum variation coefficient. Resulting models were: $Y = 0.18487(\text{Vol})^{0.6552}$ (rosetophyllous desert scrub), $Y = 0.05573(\text{Vol})^{0.7351}$ (grassland-yucca transition), $Y = 0.00958(\text{Vol})^{0.9031}$ (pine-oak forest) and $Y = 0.1016(\text{Vol})^{0.7506}$ (oak forest).

Key words: Cortadillo, inventory, *Nolina cespitifera*, production tables, arid and semiarid zones.

INTRODUCCIÓN

El cortadillo, *Nolina cespitifera* Trel. es un recurso forestal no maderable de las zonas áridas y semiáridas del sur y centro del estado de Coahuila, sur de Nuevo León y norte de Zacatecas (García y Galván, 1995; Castillo y Sáenz, 1993). La recolección de este recurso constituye una opción productiva para los pobladores de la región y, en muchos casos, es la fuente principal de ingresos económicos. Del cortadillo se obtiene una fibra dura de alta resistencia que se utiliza como materia prima en la fabricación de escobas, cepillos, muebles rústicos y cartuchos de explosivos (Sáenz y Castillo, 1993).

En Coahuila, el cortadillo crece en la región centro y sureste; sin embargo, en esta última tiene gran importancia debido a su amplia distribución y a que

representa una fuente de captación de recursos económicos para alrededor de 3,000 familias campesinas de 37 predios, ubicados en los municipios de Saltillo, General Cepeda y Parras de la Fuente (Castillo, 1995; Castillo y Sáenz, 1993; SEMARNAT, 2003).

Para el consumo racional y sostenido de este recurso es necesario evaluar las existencias y su producción anual, lo que permite valorar la biomasa útil con base en turnos de aprovechamiento y un plan de manejo. Con el propósito de disminuir el trabajo en campo y reducir los costos de inventario, Castillo y Sáenz (2005) elaboraron una tarifa para estimar la producción de hoja del cortadillo en la región sureste de Coahuila. Para ello, evaluaron un total de 260 plantas en cinco tipos de vegetación (matorral desértico micrófilo, transición izotal-pastizal, bosque de pino-encino y bosque de encino) y mediante el método de análisis de regresión y correlación, generaron 16 modelos y seleccionaron el mejor con base en los análisis de varianza, máximo coeficiente de correlación, mínimo cuadrado medio del error y menor coeficiente de variación, eligieron el modelo $Y = 0.3187 DB^{1.91109}$, con el cual se generó la tarifa; en ésta se determina el peso de hojas en función del diámetro promedio basal de la planta de cortadillo. Sin embargo, para el empleo de la misma en un solo tipo de vegetación y en otras regiones, se recomienda realizar ajustes al modelo predictor, por lo tanto, el objetivo en este documento fue validar estadísticamente la tarifa previamente generada y elaborar tablas de producción de hojas de cortadillo por tipo de vegetación para el sureste de Coahuila.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se realizó en el sureste de Coahuila, específicamente en los municipios de Saltillo, General Cepeda y Parras de la Fuente. Ubicado geográficamente en las siguientes coordenadas: 25° 07' 30" a 25° 20' 15" latitud norte y 100° 52' 20" a 101° 41' 20" longitud oeste y altitudes que varían de 1,440 a 2,340 m (Figura 1). Comprende los siguientes tipos de vegetación: matorral desértico rosetófilo, transición izotal-pastizal, bosque de pino-encino y bosque de encino.

Datos de campo

Para determinar la confiabilidad de la tarifa elaborada por Sáenz y Castillo (2005) en muestreos o inventarios de producción de hoja de cortadillo por tipo de vegetación, se obtuvo información de campo a través de la evaluación de 600 plantas de esta especie, distribuidas en forma proporcional en función del área que ocupan, de la densidad en cada uno de los tipos de vegetación y de la variabilidad

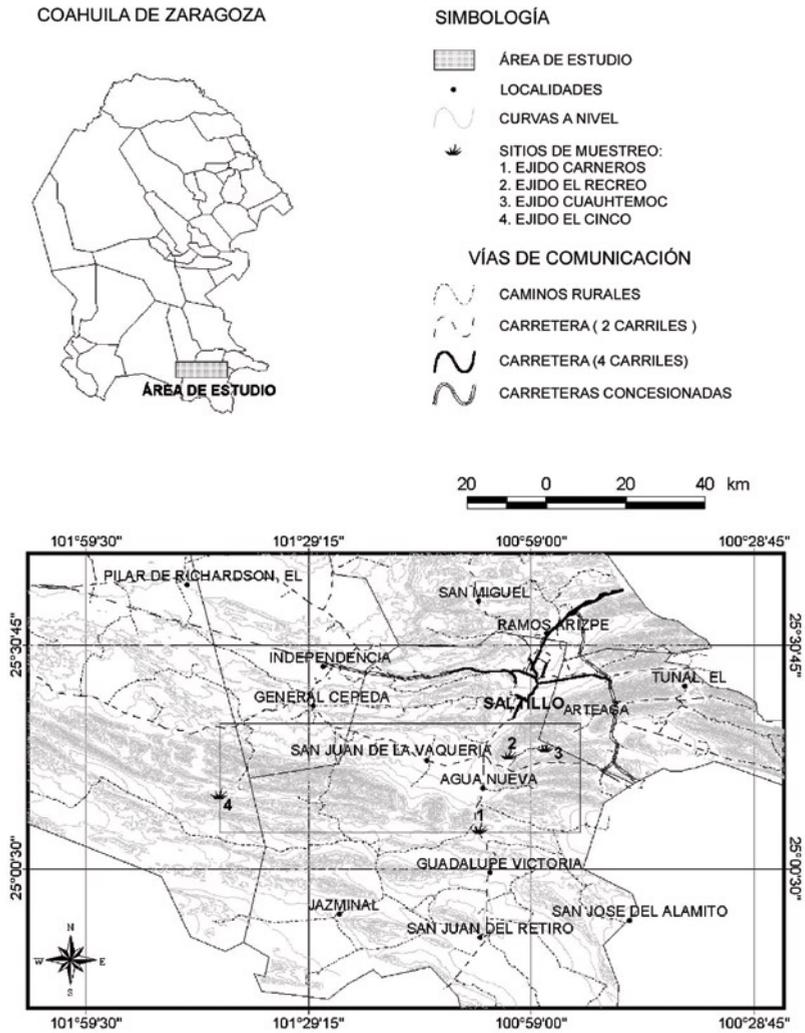


Figura.1. Localización del área de estudio y ubicación de los sitios de muestreo, en la región sureste de Coahuila.

poblacional; en el matorral desértico rosetófilo se muestrearon 85 plantas; en la transición izotal-pastizal 75; en el bosque de pino-encino 170 y en el bosque de encino 270, a las cuales se les tomó la lectura de las siguientes variables:

- 1.- Altura de la planta (cm), que se midió desde la base de las hojas hasta el nivel más alto de la mayoría de las hojas.
- 2.- Diámetro promedio basal (cm), en el que se promedió el diámetro mayor y menor tomado entre 10 a 15 cm sobre la base de la planta.
- 3.- Área basal (cm²), que se estimó con el diámetro promedio basal y la fórmula del área del círculo.
- 4.- Peso de las hojas (g) en verde, que se determinó en cada una de las plantas medidas.

Análisis estadístico

Con los datos anteriores, se llevó a cabo la validación de la tarifa mediante un análisis con base en las pruebas de:

Homogeneidad de varianzas.- Es una prueba estadística que consiste en comparar la varianza de los datos reales contra los estimados con la tarifa de rendimiento, de tal manera que indica si estadísticamente son iguales a un nivel de confiabilidad.

Homogeneidad de medias.- Esta prueba es similar a la anterior y reafirma si el comportamiento de ambas poblaciones son estadísticamente iguales.

Homogeneidad de pendientes.- Consiste en generar un modelo con los datos recabados y después comparar el coeficiente de regresión de la variable independiente de este modelo contra el del modelo con el que se elaboró la tarifa.

Generación de tablas de producción

Los datos de cada tipo de vegetación se analizaron mediante regresión y correlación con el paquete de cómputo SAS (Statistical Analysis System Versión 8). Se consideró como variable dependiente el peso en verde de las hojas y como variables independientes la altura de la planta, diámetro promedio basal, el área basal y volumen.

Se realizó el ajuste al modelo $Y = 0.3187 DB^{1.91109}$, empleado en la tarifa, pero con la finalidad de corroborar su confiabilidad, se probaron modelos de regresión lineal simple y múltiple, exponencial, logarítmico y potencial; linearizados

mediante la correspondiente transformación de las variables en cada caso en particular, los cuales se compararon y seleccionaron con base en los análisis de varianza, máximo coeficiente de correlación, mínimo cuadrado medio del error y menor coeficiente de variación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Validación de la tarifa

Los resultados de las pruebas de validación con el total de datos, es decir, tomados en todos los tipos de vegetación, indican que en las pruebas de homogeneidad de varianzas y medias, son iguales estadísticamente con una confiabilidad del 99%, sin embargo, en la prueba de homogeneidad de pendientes se determinó que son diferentes estadísticamente al mismo nivel de confiabilidad. Posteriormente, se realizaron las mismas pruebas de validación con los datos en cada tipo de vegetación, donde se distribuye el cortadillo. En los resultados se observa que solamente en la prueba de homogeneidad de medias y pendiente en el bosque de pino-encino existe igualdad estadística, así como homogeneidad de pendiente en la transición entre izotal y pastizal (Cuadro 1), por lo tanto, la necesidad de ajuste al modelo predictor y la generación de tablas de producción de hoja por tipo de vegetación.

Cuadro 1. Resultados estadísticos de las pruebas de validación de la tarifa de rendimiento de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) para el sureste de Coahuila.

Prueba		Tipo de Vegetación				
		1	2	3	4	5
Homogeneidad de varianza						
	F calculada	1.48*	2.33	2.65	2.19	3.05
	F tabla	1.48	1.32	1.32	1.48	1.48
Homogeneidad de medias						
	t calculada	1.04*	6.40	9.40	1.85*	6.42
	t tablas	2.62	2.66	2.66	2.62	2.62
Homogeneidad de pendientes						
	t calculada	15.80	5.08	2.39*	2.37*	5.15
	t tablas	2.62	2.66	2.66	2.62	2.62

1 = Incluye los 4 tipos de vegetación; 2 = Matorral desértico rosetófilo; 3 = Transición entre izotal y pastizal; 4 = Bosque de Pino-encino; 5 = Bosque de encino; *Son iguales estadísticamente.

Generación de tablas de producción

Los resultados de los análisis de regresión con el modelo potencial empleado en la generación de la tarifa, indican un bajo coeficiente de correlación entre las variables peso de hojas y diámetro basal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de los modelos potenciales generados por tipo de vegetación para estimar el peso de hojas de cortadillo.

Tipo de vegetación	Modelo	Coefficiente de correlación (r)
Matorral desértico rosetófilo	$Ln Y = Ln (1.0875) + 1.2611 Ln DB$	0.735
Transición entre Izotal y pastizal	$Ln Y = Ln (0.0344) + 1.4529 Ln DB$	0.663
Bosque de Pino-encino	$Ln Y = Ln (0.0344) + 1.4529 Ln DB$	0.721
Bosque de encino	$Ln Y = Ln (0.6930) + 1.5168 Ln DB$	0.775

Y = Peso de hojas (g); DB = Diámetro promedio basal (cm).

Con el propósito de incrementar el coeficiente de correlación, se generó una nueva variable con base en el volumen de un cilindro $Vol = (\pi) (radio^2) (altura)$, dado que para seleccionar una ecuación de regresión siempre será más conveniente apoyarse en la forma geométrica del elemento a modelar, que tratar de encontrar entre un centenar el mejor modelo desde el punto de vista estadístico (Talavera y Sáenz, 2003).

Con base en los diagramas de dispersión de la tarifa generada por Saénz y Castillo, (2005), que destacan que los modelos de mejor ajuste son el logarítmico o el potencial, y con la finalidad de corroborar la confiabilidad de la tarifa, se efectuó un análisis de regresión con estos modelos, aunque también se incluyó el exponencial y lineal simple con la variable volumen. La comparación y selección del mejor modelo matemático fue con base a los análisis de varianza (F calculada), mayor coeficiente de correlación (r), menor cuadrado medio del error (CME) y menor coeficiente de variación (CV).

Los resultados confirman que el modelo potencial es el de mejor ajuste en cada uno de los tipos de vegetación y con la variable volumen se incrementa el valor del coeficiente de correlación en 7.1% para el matorral desértico rosetófilo; en 3.7% para transición izotal-pastizal; 12.8 % para bosque de pino-encino y 4.4% para el bosque de encino, con respecto al modelo potencial con el diámetro promedio basal como variable independiente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estadísticos de regresión de los modelos probados para estimar peso de las hojas de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.).

Modelo	F cal	R	CME	CV
Matorral desértico rosetófilo				
$Y = -2214.658 + 681.298 \text{ Ln DB}$	61.14	0.648	43138.63	33.68
$Y = 170.70 + 0.019 \text{ Vol}$	138.61	0.794	28057.67	27.16
$Y = -3870.415 + 366.731 \text{ Ln Vol}$	102.43	0.742	33532.47	29.69
$\text{Ln } Y = \text{Ln}(1.088) + 1.261 \text{ Ln DB}$	95.85	0.735	0.094	4.85
$\text{Ln } Y = 5.610 + 0.000003 \text{ Vol}$	123.73	0.775	0.082	4.51
$\text{Ln } Y = \text{Ln}(-1.688) + 0.655 \text{ Ln Vol}^*$	154.27	0.806	0.071	4.21
Transición entre izotal y pastizal				
$Y = -2077.367 + 614.394 \text{ Ln DB}$	43.28	0.608	26858.96	36.39
$Y = 140.344 + 0.0016 \text{ Vol}$	46.67	0.624	26098.36	35.87
$Y = -3248.58 + 305.57 \text{ Ln Vol}$	48.23	0.632	25761.52	35.64
$\text{Ln } Y = \text{Ln}(0.034) + 1.453 \text{ Ln DB}$	57.03	0.663	0.114	5.62
$\text{Ln } Y = 5.298 + 0.000003 \text{ Vol}$	56.30	0.663	0.115	5.63
$\text{Ln } Y = \text{Ln}(-2.887) + 0.735 \text{ Ln Vol}^*$	68.82	0.700	0.105	5.38
Bosque de pino-encino				
$Y = -3084.520 + 925.572 \text{ LnDB}$	89.40	0.600	129033.77	53.01
$Y = 28.391 + 0.0030 \text{ Vol}$	273.17	0.794	74544.75	40.29
$Y = -5562.244 + 514.620 \text{ Ln Vol}$	193.43	0.735	91268.71	44.59
$\text{Ln } Y = \text{Ln}(-0.678) + 1.717 \text{ Ln DB}$	177.77	0.721	0.223	7.50
$\text{Ln } Y = 5.284 + 0.000005 \text{ Vol}$	314.14	0.812	0.159	6.34
$\text{Ln } Y = \text{Ln}(-4.648) + 0.903 \text{ Ln Vol}^*$	408.93	0.849	0.133	5.79
Bosque encino				
$Y = -2820.345 + 951.258 \text{ Ln DB}$	217.54	0.671	14652.64	60.04
$Y = 133.042 + 0.0046 \text{ Vol}$	507.39	0.806	90578.91	47.51
$Y = -4753.685 + 476.469 \text{ Ln Vol}$	279.13	0.714	128368.70	56.56
$\text{Ln } Y = \text{Ln}(0.693) + 1.517 \text{ Ln DB}$	400.75	0.775	0.199	7.21
$\text{Ln } Y = 5.571 + 0.000006 \text{ Vol}$	320.24	0.735	0.227	7.68
$\text{Ln } Y = \text{Ln}(-2.286) + 0.750 \text{ Ln Vol}^*$	534.51	0.819	0.166	6.58

Y = Peso de hojas (g); DB = Diámetro promedio basal (cm); Vol = Volumen (cm³); Ln = Logaritmo natural; F cal = "F" calculada en el análisis de varianza; r = Coeficiente de correlación; CME = Cuadrado medio del error; CV = Coeficiente de variación; * = Modelo seleccionado por tipo de vegetación.

Para la comparación de la hipótesis de que los estimadores de los parámetros iguales a cero contra la alternativa de que son diferentes de cero, se efectuó la prueba de *t-student* y los resultados indican que la hipótesis nula se rechaza en todos los casos, por lo tanto los parámetros son significativamente diferentes de cero y deben ser considerados en el modelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadísticos de la prueba de *t-student* del modelo seleccionado para generación de tablas de producción de hojas de cortadillo por tipo de vegetación en el sureste de Coahuila.

Tipo de vegetación/variable	G. L.	Parámetro estimado	Error Estandar	T para H_0 Parámetro=0	Prob> T
Matorral desértico rosetófilo					
Intercepto	1	-1.6881	0.6461	-2.613	0.0107
Ln (Vol)	84	0.6552	0.0528	12.421	0.0001
Transición Izotal-pastizal					
Intercepto	1	-2.8871	1.0734	-2.690	0.0089
Ln (Vol)	74	0.7351	0.0886	8.296	0.0001
Bosque de Pino-encino					
Intercepto	1	-4.6483	0.5423	-8.572	0.0001
Ln (Vol)	169	0.9031	0.0447	20.222	0.0001
Bosque de encino					
Intercepto	1	-2.2864	0.3679	-6.215	0.0001
Ln (Vol)	269	0.7506	0.0325	23.120	0.0001

Vol = Volumen (cm³); Ln = Logaritmo natural.

Los análisis de varianza del modelo potencial por tipo de vegetación, considerando como variable dependiente al peso de hojas y como independiente al volumen, indican que el modelo ajustado es altamente significativo, debido a que el valor de probabilidad de que la varianza del modelo respecto a la varianza del error fueran iguales, fue menor al 1% (Cuadro 5), lo que significa que la varianza explicada por el modelo es superior a la varianza del error.

Los modelos seleccionados se presentan en el Cuadro 5. Con ellos se elaboraron las tablas de producción de hojas de cortadillo para cada tipo de vegetación (cuadros 6, 7, 8 y 9); muestran los valores estimados (g) a partir de la medición en campo de la altura (cm) y el diámetro promedio basal (cm) de la planta, con lo cual se reducen los tiempos y costos del inventario de existencias de este recurso forestal no maderable, a nivel de producción de hojas. Sin las tablas sería necesario cortar y pesar las hojas de cada una de las plantas ubicadas en cada uno de los sitios de muestreo, lo que constituye un método destructivo de evaluación y con alto costo.

Cuadro 5. Modelos seleccionados para estimar el peso de hojas de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) por tipo de vegetación para la región sureste de Coahuila.

Tipo de vegetación	Modelo linearizado	Ecuación original	Probabilidad
Matorral desértico rosetófilo	$Ln Y = Ln (-1.688) + 0.655 Ln Vol$	$Y=0.18487(Vol)^{0.6552}$	0.0001
Transición entre izotal y pastizal	$Ln Y = Ln (-2.887) + 0.735 Ln Vol$	$Y=0.05573 (Vol)^{0.7351}$	0.0001
Bosque de pino encino	$Ln Y = Ln (-4.648) + 0.903 Ln Vol$	$Y=0.00958 (Vol)^{0.9031}$	0.0001
Bosque de encino	$Ln Y = Ln (-2.286) + 0.750 Ln Vol$	$Y=0.1016 (Vol)^{0.7506}$	0.0001

Y = Peso de hojas (g); Vol = Volumen (cm³); Ln = Logaritmo natural.

Cuadro 6. Tabla de producción para estimar el peso (g) de hojas de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) en el matorral desértico rosetófilo en el sureste de Coahuila.

Diámetro basal (cm)	Altura (cm)														
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	90	100	105	110
20	90	97	104	110	117	123	129	135	141	147	153	158	163	169	174
25	120	130	139	148	157	165	173	181	189	197	204	212	219	226	233
30	153	165	177	188	199	210	220	230	240	250	260	269	278	287	296
35	187	202	216	230	244	257	269	282	294	306	318	329	340	351	362
40	222	240	257	274	290	306	321	336	350	364	378	392	405	419	432
45	260	280	300	320	338	357	374	392	409	425	441	457	473	488	504
50	298	322	345	367	389	410	430	450	469	488	507	525	543	561	578
55	338	365	391	416	440	464	487	510	532	553	574	595	615	635	655
60	378	409	438	466	493	520	546	571	596	620	644	667	690	712	734
65	420	454	486	518	548	578	606	634	662	689	715	741	766	791	815
70	463	500	536	570	604	636	668	699	729	759	788	816	844	871	898
75	507	548	587	624	661	697	731	765	798	831	862	893	924	954	983
80	552	596	638	680	719	758	796	833	869	904	938	372	1005	1038	1070
85	599	645	691	736	779	821	862	902	940	979	1016	1053	1089	1124	1159
90	644	695	745	793	839	885	929	972	1014	1055	1095	1134	1173	1211	1249
95	691	746	800	851	901	950	997	1043	1088	1132	1175	1218	1259	1300	1340
100	739	798	855	910	964	1016	1066	1116	1164	1213	1257	1302	1347	1391	1434

Cuadro 7. Tabla de producción para estimar el peso (g) de hojas de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) en la zona de transición entre izotal y pastizal en el sureste de Coahuila.

Diámetro basal (cm)	Altura(cm)															
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
20	57	63	68	73	77	82	87	91	96	100	104	109	113	117	121	
25	80	87	94	101	107	114	120	127	133	139	145	151	156	162	168	
30	104	114	123	132	141	149	157	166	174	182	189	197	205	212	219	
35	131	143	154	165	176	187	197	208	218	228	237	247	257	266	675	
40	159	174	188	201	215	228	240	253	265	277	289	301	312	324	335	
45	189	206	223	239	255	271	286	301	315	329	344	358	371	385	398	
50	221	241	260	279	298	316	334	351	368	385	401	417	434	449	465	
55	254	277	300	321	343	363	384	404	423	443	462	480	499	517	535	
60	289	315	341	365	389	413	436	459	481	503	525	546	567	587	608	
65	325	354	383	411	438	465	491	516	541	566	590	614	638	661	684	
70	362	395	427	458	488	518	547	575	603	631	658	685	711	737	763	
75	401	437	473	507	541	573	605	637	668	698	728	758	787	846	844	
80	441	481	520	557	594	630	666	700	734	768	801	833	865	897	928	
85	482	526	568	609	650	689	728	766	803	839	875	911	946	980	1114	
90	525	572	618	663	707	749	791	833	873	913	952	991	1029	1066	1103	
95	568	619	669	718	765	812	857	902	945	988	1031	1073	1114	1155	1195	
100	612	668	722	774	825	875	924	972	1019	1066	1112	1157	1201	1245	1288	

Cuadro 8. Tabla de producción para estimar el peso (g) de hojas de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) en el bosque de pino-encino en el sureste de Coahuila.

Diámetro basal (cm)	Altura (cm)														
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
20	48	54	59	64	69	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
25	72	80	88	96	104	112	120	127	135	142	150	157	165	172	180
30	100	111	123	134	145	155	166	177	187	198	208	219	229	240	250
35	132	147	162	177	191	205	219	234	248	262	275	289	303	319	330
40	169	187	206	225	243	261	279	299	315	333	350	368	385	403	420
45	208	232	255	278	301	323	346	368	390	412	434	455	477	498	520
50	252	280	308	336	364	391	418	445	471	498	524	551	577	603	629
55	299	333	366	399	432	464	496	528	560	592	623	654	685	716	747
60	350	390	429	467	505	543	581	618	655	692	729	765	802	838	874
65	405	450	495	540	584	628	671	714	757	800	842	884	926	968	1010
70	463	515	566	617	668	718	767	817	866	914	963	1011	1059	1107	1154
75	524	583	641	699	756	813	869	925	981	1036	1091	1145	1199	1254	1307
80	589	655	721	786	850	913	977	1039	1102	1164	1225	1287	1348	1408	1469
85	657	731	804	876	948	1019	1090	1160	1229	1298	1367	1436	1504	1571	1639
90	729	811	892	972	1051	1130	1208	1286	1363	1440	1516	1592	1667	1742	1817
95	804	894	983	1071	1159	1246	1332	1418	1503	1587	1671	1755	1838	1921	2003
100	882	981	1078	1175	1271	1367	1461	1555	1649	1741	1834	1925	2017	2107	2108

Cuadro 9. Tabla de producción para estimar el peso (g) de hojas de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) en el bosque de encino en el sureste de Coahuila.

Diámetro basal (cm)	Altura (cm)														
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
20	121	132	143	154	164	175	185	194	204	214	223	232	241	250	259
25	170	185	200	215	230	244	258	272	285	299	312	325	337	350	362
30	223	244	264	283	302	321	339	357	375	392	410	427	443	460	476
35	281	307	332	357	381	404	428	250	473	495	516	538	559	580	600
40	343	375	406	436	465	494	523	550	578	604	630	657	683	708	734
45	410	448	484	520	555	590	624	657	689	721	753	784	815	845	875
50	480	524	567	609	651	691	730	769	807	845	882	919	955	990	1025
55	554	605	655	703	755	797	843	888	932	975	1018	1060	1101	1143	1183
60	631	689	746	801	855	908	960	1011	1062	1111	1160	1208	1255	1302	1348
65	712	777	841	904	865	1024	1083	1141	1197	1253	1308	1362	1415	1468	1520
70	795	869	940	1010	1078	1145	1210	1275	1338	1400	1462	1522	1582	1641	1699
75	882	964	1043	1120	1196	1270	1343	1414	1484	1553	1621	1688	1755	1820	1885
80	972	1062	1149	1234	1317	1399	1476	1558	1635	1711	1786	1860	1933	2005	2077
85	1064	1163	1258	1354	1443	1532	1620	1706	1791	1874	1956	2037	2117	2196	2274
90	1160	1267	1371	1473	1572	1670	1765	1859	1951	2042	2132	2220	2307	2393	2478
95	1258	1374	1487	1597	1705	1811	1914	2016	2116	2215	2312	2408	2502	2595	2688
100	1358	1484	1606	1725	1842	1956	2068	2178	2286	2392	2497	2600	2702	2803	2903

CONCLUSIONES

La tarifa de producción deberá aplicarse cuando existan todos los tipos de vegetación donde se distribuye la especie y se desee hacer el inventario de existencias a nivel biomasa de hojas de cortadillo. Cuando en un ejido o predio particular se observe solamente algún(os) tipo(s) de vegetación, se recomienda el empleo de la(s) tabla(s) de producción correspondiente.

Para el empleo de las tablas de producción, las variables a medir en campo son: diámetro, promedio basal y la altura de la planta, las cuales se localizan en la tabla correspondiente al tipo de vegetación y se ubica el peso estimado de las hojas de cortadillo.

El uso de la tarifa o tablas de producción facilita y disminuye el trabajo de campo, lo cual repercute en menor costo de los inventarios de este recurso forestal no maderable.

Para el uso de las tablas de producción en otras regiones, deberán realizarse ajustes al modelo predictor o a las tablas regionales.

REFERENCIAS

- Castillo Q., D. 1994. Determinación del turno de aprovechamiento de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.). *In: Memoria de Primer simposio internacional sobre Agavaceas.* Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. pp. 51.
- Castillo Q., D. 1995. Establecimiento de plantaciones de cortadillo en la región ixtlera del sur del municipio de Saltillo, Coah. *In: Memoria del Taller de Identificación de Proyectos Productivos para el Programa de Desarrollo Regional Sustentable de las zonas ixtleras y candelilleras.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. pp. 153 .
- Castillo Q., D. y J. T. Sáenz R. 1993. Aspectos ecológicos del cortadillo *Nolina* sp. en el sur de Saltillo, General Cepeda y Parras de la Fuente, Coahuila. INIFAP-CIRNE Campo Experimental La Saucedá. Folleto Técnico No. 4. Saltillo, Coah., México. 17 p.
- Castillo Q., D., O. U. Martínez B., A. Cano P. y C. A. Berlanga R. 2004. *Nolina cespitifera* Trel. recurso forestal no maderable de importancia económica en el estado de Coahuila. *In: Memorias del IV Simposio Internacional sobre Agavaceae y Nolinaceae.* Los agaves de importancia económica en México. pp. 43.

- Castillo Q., D. y J. T. Sáenz R. 2005. Tarifa de rendimiento de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) para el sureste de Coahuila. Campo Experimental Saltillo, INIFAP-CIRNE. Folleto Técnico Núm. 19. Saltillo, Coah., México. 23 p.
- Castillo Q., D., J. T. Sáenz R. y E. E. Villavicencio G. 2004. Análisis dimensional de cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) para el estado de Coahuila. *In: Memorias del IV Simposio Internacional sobre Agavaceae y Nolinaceae. Los agaves de importancia económica en México.* pp. 43.
- Draper, N. R. and H. Smith. 1966. Applied regression analysis. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. USA. 407 p.
- García, M. A. y R. Galván V. 1995. Riquezas de las familias Agavaceae y Nolinaceae en México. Bol. Soc. Bot. Méx. 56: 7-24.
- Manzanilla, H., L. Vázquez G., D. A Moreno G., E. Talavera Z., J. Espinosa A., J. G. Flores.G., A.Rueda S., J. D Benavides S., J. Villa C., M. Martínez, D., J. A Eguiarte V., Y. Chávez, H., C. Orduña T., J. T Sáenz R., L. Madrigal H. y A Gómez Tagle R. 1997. Sistema de Manejo Integrado de los Recursos Forestales SIMANIN. Libro Técnico Núm. 1. Campo Experimental Colomos, INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jal. México. pp. 98-105.
- Pinkava, D. J. and J. A. Villarreal Q. 2003. Cuatrociénegas Región México. *In: Centers of plants Diversity The Americas. Middle America Caribbean Islands* <http://www.nmnh.si.edu/botany/projects/cpd/ma/ma10.htm> (27 de septiembre de 2006).
- Sáenz, J. T. y D. Castillo Q. 1992. Guía para la evaluación del cortadillo en el Estado de Coahuila. Folleto Técnico No. 3. Campo Experimental La Sauceda, INIFAP-CIRNE. Saltillo, Coah., México. 13 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2003. Aprovechamientos forestales. Unidad de Administración y Aprovechamientos de Recursos Naturales. Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental, Delegación Coahuila. Saltillo, Coah., México. http://www.semarnat.gob.mx/estado/nuevoleon/Documents/Aprovechamientos/Forestales/Avisos_no_maderables_vigentes_a_diciembre_de_2006.xls (26 de septiembre de 2006).
- Talavera Z., E. y J. T Sáenz, R. 2003. Tabla de volumen de *Pinus pseudostrobus* para la región oriente de Michoacán. Folleto Técnico No. 3. Campo Experimental Morelia, INIFAP-CIRPAC. Morelia, Mich., México. 15 p.
- Villarreal Q., J. A. 2001. Listados Florísticos de México. XIII Flora de Coahuila. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 138 p.

ESTUDIO CARIOLÓGICO DE *Quercus laurina* Humb. & Bonpl.

Carlos Rafael Hernández-Vital¹,
José Guadalupe Álvarez-Moctezuma¹,
Fernando Zavala-Chávez† y Policarpo Espinosa-Robles¹

RESUMEN

Los encinos (*Quercus* spp., Fagaceae), en razón de su abundancia, son el grupo de latifoliadas más importante de las áreas templadas de México. A pesar de ello, han sido poco estudiadas desde el punto de vista cariológico. En este sentido, es escasa la información del género *Quercus*, que está basada en especies de Europa y Estados Unidos. En dichas investigaciones se reporta que el número básico cromosómico es 12 y el número cromosómico somático, 24. El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis cariológico de *Q. laurina* para aplicarse en estudios taxonómicos. Se aislaron ápices radicales de plántulas recién emergidas, mismos que se conservaron en paradiclorobenceno (30g/L) y fijándose en solución Carnoy 6:1:1 (v:v:v). Se tiñó con acetocarmín. Se usó la técnica de aplastado con ácido acético. El análisis cromosómico se efectuó en un microscopio compuesto, observando las células mitóticas en metafase. Los resultados cariológicos de *Q. laurina* indican que es una especie diploide, con un número cromosómico básico $x = 12$, un complemento haploide de $37.2 \mu\text{m}$, un índice centromérico de $40.83 \mu\text{m}$ y un índice de asimetría intracromosomal de 0.28 y un cariotipo de 18 cromosomas metacéntricos y seis submetacéntricos. La cariomorfología de *Q. laurina* es similar a la reportada para otras especies del género *Quercus*.

Palabras clave: Cariomorfología, cariotipo, encino, Fagaceae, número cromosómico, *Quercus laurina*.

Fecha de recepción: 31 de enero de 2008.

Fecha de aceptación: 07 de abril de 2009.

¹ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Correo-e: jogualmo@correo.chapingo.mx

ABSTRACT

Oaks (*Quercus* spp., Fagaceae) are the most important broad-leaved trees of Mexico temperate regions, due to their abundance. However, they have rarely been studied from the karyological point of view. Little information about the genus *Quercus* exists, which is based upon American and European species. In these studies, it is reported that 12 is the chromosome basic number and 24 the somatic chromosome number. The objective of this research project was to make a karyological analysis of *Q. laurina* for taxonomy purposes. Root tips were isolated from young seedlings, preserved in 30g/L paradichlorobenzene and fixed on 6:1:1 (v:v:v) Carnoy's solution. Carmin-acetic was used to stain. The squash technique with acetic acid was used. Chromosome study was determined for mitotic cells during metaphase. *Q. laurina* karyological study show a diploid species, a basic chromosome number of $x = 12$, a haploid complement of $37.2 \mu\text{m}$, a centromeric index of $40.83 \mu\text{m}$, and an intrachromosomal asymmetry index of 0.28 and a karyotype of 18 metacentric and six submetacentric chromosomes. *Q. laurina* karyomorphology is similar to other *Quercus* species.

Key words: Karyomorphology, karyotype, oak, Fagaceae, chromosome number, *Quercus laurina*.

INTRODUCCIÓN

Los encinos, en razón de su abundancia, son el grupo de latifoliadas más importante de las regiones templadas de México. Están presentes en tres tipos de vegetación en áreas de clima templado y semihúmedo (Rzedowski, 1978): en el bosque de *Quercus*, propiamente dicho, que ocupa 5% de la cubierta forestal de todo el país; en el bosque de *Pinus-Quercus*, que corresponde a 16% del territorio vegetal y en el bosque mesófilo de montaña, que cubre 1% (Palacio *et al.*, 2000). A pesar de su gran diversidad, tradicionalmente los encinos mexicanos han sido poco valorados y menos aprovechados que las coníferas, debido, entre otras razones, al desconocimiento que prevalece de sus aspectos biológicos básicos (ecológicos y genéticos) y a la complejidad taxonómica del género, la que ha dado lugar a imprecisiones de identificación pues tienen una alta plasticidad morfológica derivada de su amplia capacidad de hibridización (Zavala, 1990; Valencia *et al.*, 2002; Valencia, 2004). Lo anterior ha propiciado descripciones repetidas y reasignaciones a sinonimias de los nombres originales (Jones, 1986 citado por Valencia *et al.*, 2002).

Desde el punto de vista cariológico, las especies del género *Quercus* no han sido estudiadas y la poca información que existe en este sentido, en su mayoría

se basa en experiencias procedentes de Europa y Estados Unidos (Sax, 1930; Duffield, 1940; Santamour, 1962; Mehra *et al.*, 1972; Ohri y Ahuja, 1990; D'Emerico *et al.*, 1995, 2000; Flores *et al.*, 2006). En dichos trabajos se reporta que el número básico cromosómico es 12 y el número cromosómico somático es 24.

El cariotipo es la característica de un núcleo definido por el tamaño, forma y número de cromosomas mitóticos, y es constante para las especies. Por lo tanto, puede utilizarse como criterio para su clasificación taxonómica, al igual que la morfología externa. Además, el análisis comparativo de los cariotipos puede mostrar las diferencias entre las especies así como dar indicios de cómo surgieron estas diferencias en el curso de la evolución. Con ello es factible detectar las interrelaciones entre las distintas categorías taxonómicas. Las consideraciones sobre los cariotipos, junto con la distribución geográfica y las características estructurales, permiten interpretar la evolución y la filogenia de los organismos sobre una base firme (García, 1989).

De las especies mexicanas más estudiadas, *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. es importante porque está presente en el paisaje rural bajo una gran diversidad de condiciones ambientales, por un lado y por otro, porque ofrece un gran potencial de aprovechamiento para la industria maderera. Estos encinos de 25 m de alto y DAP de 0.9 m, en promedio, se desarrollan en bosques templados con asociaciones de pino (*Pinus* spp.) y oyamel (*Abies* spp.) entre 1,300 y 3,100 m de altitud; crecen en lugares planos, casi planos o de pendiente o ligera. Se le ha consignado para el Valle de México, Distrito Federal y en los estados de Colima, Chiapas, Michoacán, Estado de México, Morelos, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Zacatecas (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001; Valencia *et al.*, 2002). Se le ha observado colonizar y germinar en una amplia variedad de hábitats sucesionales, desde matorrales abiertos hasta bosques maduros (Shaw, 1968a, 1968b; Andersson, 1991; Quintana-Ascencio *et al.*, 1992; Kollmann y Schill, 1996 citados por Camacho y González, 2002). Además, ha sido reconocida como especie forestal con la que diversos hongos silvestres forman estructuras micorrízicas (Mendoza *et al.*, 2006). Las características anatómicas de su madera (De la Paz *et al.*, 2006; Aguilar y Castro, 2006) han sido ampliamente descritas así como la calidad de maquinado (Flores *et al.*, 2007), que hacen de la materia prima que contiene, un producto muy útil para la elaboración de productos terminados de parquet, muebles, lambrines y molduras. Independientemente de su valor ecológico y productivo, existen problemas taxonómicos de esta especie pues comparte muchas características con otras del mismo subgénero (González *et al.*, 2004). Por lo tanto, con el fin de aportar una opción que resuelva imprecisiones de este orden, el estudio que se describe a continuación tuvo como objetivo describir el cariotipo de esta especie (*Quercus laurina*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Recolecta

El Parque Nacional El Chico, en el estado de Hidalgo fue el sitio de donde procede el material estudiado (Zavala, 1995). Está ubicado entre los 20° 12' 32" de latitud norte y los 98° 47' 23" de longitud oeste a 24 km de la capital de la entidad. Rzedowski (1978) describe tres tipos de vegetación en el lugar: asociación *Abies-Quercus* en las laderas de las montañas; bosque mesófilo de montaña en las cañadas, cactáceas y arbustos xerófilos en las partes altas.

En el primero de ellos se recolectaron las bellotas de *Quercus laurina*, que son ovoides a anchamente ovoides, de 15 a 17 mm de largo por 10 a 12.5 mm de diámetro, pardo-amarillentas y/o generalmente glabras o en ocasiones con corto tomento pardo-crema hacia la base, incluidas un tercio de su longitud total en las cúpulas; solitarias o por pares, sobre pedúnculos de 5 a 15 mm de largo (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001; Valencia *et al.*, 2002).

Trabajo de laboratorio

Las bellotas recolectadas se trasladaron al Laboratorio de Semillas de la División de Ciencias Forestales, en donde se sembraron en vermiculita por un período de 4 a 5 meses, con previo tratamiento en frío húmedo (60 días a +5°C), para su germinación.

Para el examen citológico de los cromosomas somáticos, se usaron los ápices radicales que se encontraban creciendo activamente. Estos fueron pretratados en una solución saturada de paradiclorobenceno (30g/L) por 2 h para incrementar la frecuencia de células en división mitótica y acortar los cromosomas. Al finalizar este período, los ápices fueron fijados por 30 min en solución Carnoy, 6:1:1 (v:v:v) de alcohol etílico absoluto, ácido acético glacial y cloroformo (García, 1989). La hidrólisis fue realizada en una solución de HCl 5N por 15 min a 20°C. Las muestras fueron teñidas con una gota de acetocarmín y se pasaron por fuego directo evitando la ebullición. El aplastado se realizó en una gota de ácido acético al 45%; inmediatamente después, se colocó un cubreobjetos, se cubrió con papel absorbente y el cubreobjetos se presionó con firmeza sobre una superficie lisa. Las preparaciones se observaron al microscopio de campo claro (LeicaCme®) con aumentos 600X y 1500X; para el conteo cromosómico se identificaron células en metafase. Se evaluaron 10 células por preparación provenientes de 20 plántulas.

Los cromosomas se midieron desde la base para obtener la longitud total y la proporción de cada brazo, además de elaborar el idiograma. La proporción entre el cromosoma más largo y el más corto también fue calculada

Análisis de datos

La asimetría del cariotipo fue evaluada mediante el índice centromérico (Romero, 1986):

$$Ic = (100 \cdot l) / L$$

Donde:

l = promedio de la longitud del brazo corto en el par de cromosoma homólogo

L = promedio de la longitud total del par de cromosoma homólogo

El parámetro del índice de asimetría intracromosomal se calculó mediante la siguiente ecuación (Romero, 1986):

$$A_1 = 1 - ((\sum b_i / B_i) / n)$$

Donde:

n = número de pares de cromosomas homólogos

b = promedio de la longitud del brazo corto en cada par de cromosoma homólogo

B = promedio de la longitud del brazo largo en cada par de cromosoma homólogo

Se aplicó la nomenclatura recomendada por Levan *et al.* (1964) para reconocer los tipos de cromosomas y elaborar la fórmula cariológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número cromosómico somático encontrado fue $2n = 24$ (Figura 1). La exploración confirmó la consistencia entre las especies del género *Quercus* en tener un complemento cromosómico de $2n = 24$ (Duffield, 1940; Stairs, 1964, Mehra *et al.*, 1972; Wang, 1986; Ohri y Ahuja, 1990; D'Emérico *et al.*, 1995, 2000; Flores *et al.*, 2006). Además, los resultados ratificaron que el número cromosómico básico para este género es $x = 12$, lo que concuerda con muchos autores (Sax, 1930; Duffield, 1940; Santamour, 1962; Mehra *et al.*, 1972; Ohri y Ahuja, 1990; Rodríguez y Spellenberg, 1992; Butorina, 1993; D'Emérico *et al.*, 1995, 2000; Flores *et al.*, 2006). Algunas especies pueden exhibir variación en los niveles de ploidía; por ejemplo, Butorina (1993) encontró dos individuos triploides de *Q. robur* L. y *Q. dentata* Thunb. con $2n = 3x = 36$. Por el contrario, Sax (1930) y Santamour (1962) reportaron 48 cromosomas somáticos, $n = 12$ y $2n = 24$ para *Q. robur* y

Q. dentata. Zoldos *et al.* (1999) opinan que la falta de diferenciación en cromosomas de especies de encinos sugiere que poseen un cariotipo común.



Figura 1. Cromosomas somáticos de *Quercus laurina* (Barra 5 μm).

El intervalo de la longitud de los cromosomas de *Q. laurina* fue de 2.7 μm a 3.6 μm , mientras que para las especies estudiadas por D'Emérico *et al.* (1995) fue de entre 0.97 μm y 3.38 μm . Por otro lado, para *Q. petraea* (Mattuchka) Liebl., *Q. robur* y *Q. rubra* L. la longitud de los cromosomas varió entre 2.49 μm y 6.26 μm (Ohri y Ahuja, 1990). Para *Q. candicans* Née, *Q. crassifolia* Humb. &

Bonpl., *Q. elliptica* Née, *Q. frutex* Trel., *Q. hintonii* Warb., *Q. obtusata* Humb. & Bonpl., *Q. rugosa* Née y *Q. urbanii* Trel. la longitud cromosómica es de 1 a 8.2 μm . La mayor parte de los cromosomas son pequeños. Hay diferencias intersubgenéricas en la longitud de los cromosomas; de 1 a 4 μm para el subgénero *Quercus* y de 2.2 a 8.2 μm para el subgénero *Lobatae* (Flores *et al.*, 2006). En once especies de encinos, Zoldos *et al.* (1999) observaron que tienen dos pares cromosómicos muy grandes y un grupo de cromosomas de talla mediana. Sin embargo, hay que considerar que la longitud de estas estructuras depende del pretratamiento empleado (Curtis, 1986). D'Emérico *et al.* (1995) aplicaron colchicina, Ohri y Ahuja (1990) usaron 8-hidroquinoleína y en este trabajo se aplicó paradiclorobenceno. *Q. laurina* exhibe una amplitud en la longitud cromosómica intermedia entre las especies de su género, lo que no es concluyente hasta realizar los experimentos con el mismo pretratamiento.

El brazo largo de *Q. laurina* tuvo una extensión de 1.45 μm a 2.65 μm , con un promedio de 2.05 μm , mientras que el brazo corto tuvo un intervalo de 0.97 μm a 1.26 μm , con una media aritmética de 1.12 μm (Cuadro 1). En ocho especies del género, la longitud del brazo largo promedio fue de 1.18 μm (entre 0.53 μm y 2.03 μm) y del corto de 0.92 μm (entre 0.43 μm y 1.53 μm). Ohri y Ahuja (1990) informaron que la longitud del primero es de 2.10 μm para *Q. petraea*, *Q. robur* y *Q. rubra* (entre 1.4 μm y 3.6 μm) y el corto, de 1.64 μm (variando entre 1.15 μm y 2.7 μm), lo cual indica que la longitud de los brazos en *Q. laurina* está dentro de la amplitud esperada para el género *Quercus*.

Cuadro 1. Longitud de brazos en cromosomas de *Quercus laurina* (promedio \pm desviación estándar).

C*	BL*	BC*	C	BL	BC
1	2.65 (± 0.10)	0.97 (± 0.10)	7	1.63 (± 0.08)	1.46 (± 0.05)
2	2.64 (± 0.07)	0.96 (± 0.10)	8	1.68 (± 0.09)	1.33 (± 0.10)
3	2.61 (± 0.10)	0.93 (± 0.10)	9	1.48 (± 0.10)	1.33 (± 0.08)
4	1.89 (± 0.10)	1.54 (± 0.06)	10	1.47 (± 0.10)	1.31 (± 0.10)
5	1.82 (± 0.10)	1.40 (± 0.06)	11	1.49 (± 0.10)	1.23 (± 0.07)
6	1.78 (± 0.08)	1.43 (± 0.10)	12	1.45 (± 0.10)	1.26 (± 0.10)

C = Cromosoma; BL = brazo largo (μm); BC* = brazo corto (μm).

El cariotipo de *Quercus laurina* tiene 18 cromosomas metacéntricos y seis submetacéntricos (Figura 2). Esta especie mostró una cariomorfología similar a las de *Q. coccifera* L., *Q. cerris* L. y *Q. pubescens* Willd. con igual número de cromosomas metacéntricos y submetacéntricos (D'Emérico *et al.*, 1995; 2000). Stebbins (1971) afirma que las especies de *Quercus* tienen cariotipos moderadamente asimétricos. Zoldos *et al.* (1999) mencionan que los rasgos cromosómicos básicos no se modifican dentro del género *Quercus* y que sus cariotipos no conforman cromosomas submetacéntricos y sólo un par subteloacéntrico con satélite. *Q. petraea*, *Q. robur* y *Q. rubra* poseen seis pares metacéntricos, cinco submetacéntricos (con el par II satelizado) y un par subteloacéntrico (Ohri y Ahuja, 1990). Se han reportado variaciones interpopulacionales de *Q. petraea* en el número de cromosomas metacéntricos y submetacéntricos y en la posición de satélite (Medjedovic, 1983). Según Lewitsky (1931) un cariotipo con cromosomas mayoritariamente metacéntricos es considerado primitivo; por lo tanto, las especies del género *Quercus* presentan cariotipos moderadamente primitivos.

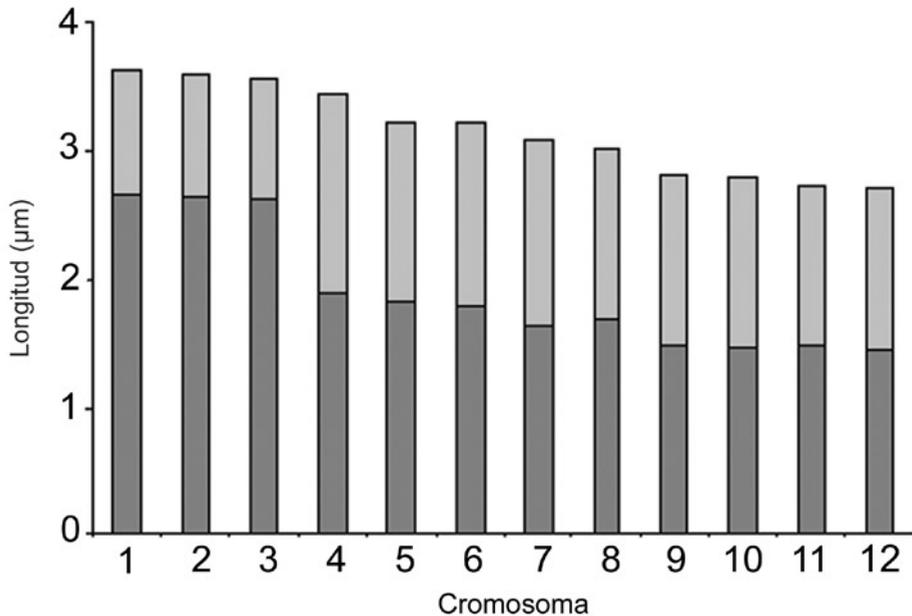


Figura 2. Idiograma de *Quercus laurina*.

El complemento haploide (Ch) calculado para *Q. laurina* fue de 37.2 μm , mucho mayor que para 12 especies del género *Quercus*, para los que el Ch osciló entre 20.67 μm y 27.28 μm (D'Emérico *et al.*, 1995; 2000). Para *Q. petraea*, *Q. robur* y *Q. rubra* el Ch fue de 44.79 μm (Ohri y Ahuja, 1990). Esto indica que el Ch obtenido para *Q. laurina* se ubica dentro de los intervalos registrados para otras especies del género.

El índice de asimetría intracromosomal (A_1) de *Q. laurina* fue 0.28. *Q. laurina* es ligeramente más simétrico que 12 especies de *Quercus* (A_1 entre 0.30 y 0.37) evaluadas por D'Emérico *et al.* (1995; 2000). *Q. petraea*, *Q. robur* y *Q. rubra* fueron más simétricas (A_1 en promedio 0.20) (Ohri y Ahuja, 1990). Estas tres últimas especies reportaron valores similares a especies de la sección Lobatae, A_1 es de 0.19 a 0.20 en *Q. crassifolia* y *Q. elliptica* y de 0.26 a 0.31 en *Q. hintonii* y *Q. urbanii* (Flores *et al.*, 2006). De acuerdo con Lewitsky (1931), un cariotipo con cromosomas de talla similar, es decir simétrico, es considerado primitivo, en contraposición a los cariotipos asimétricos, en cuyo caso son derivados. Entonces, el cariotipo de *Quercus* es ligeramente primitivo en cuanto su simetría.

El índice centromérico (Ic) de *Q. laurina* fue de 40.83 μm . Este resultado fue similar al de las especies estudiadas por D'Emérico *et al.* (1995) los cuales fluctuaron entre 38.1 μm y 40.86 μm . El Ic de las del subgénero *Quercus* varía entre 22.08 y 36.17 y para las del subgénero Lobatae, de 29.25 y 39.42 (Flores *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

El perfil cariológico de *Quercus laurina* indica que es una especie diploide, con un número cromosómico básico $x = 12$, un complemento haploide de 37.2 μm , índice centromérico de 40.83 μm e índice de asimetría intracromosomal de 0.28 y con un cariotipo de 18 cromosomas metacéntricos y seis submetacéntricos. De acuerdo con estos parámetros morfométricos *Q. laurina* es similar a otras especies europeas y norteamericanas del género *Quercus*.

Se requiere continuar con la exploración cariológica de otras especies del subgénero *Quercus*. Además, es necesario iniciar análisis cariotípico en otras del subgénero *Cyclobalanopsis*, ya que es de particular interés la investigación cromosómica en especies nativas de México; debido a que este género exhibe su mayor riqueza (de 135 a 150 especies) (Nixon, 1993). Esta información sería útil para entender la taxonomía y evolución del género *Quercus*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a la Comisión Nacional Forestal (proyecto CONAFOR-2002-C01-6181), a la Universidad Autónoma Chapingo (proyecto 06100513 y 071-00506) por su patrocinio y apoyo institucional así como al señor Alejandro Cortés del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, por su apoyo.

REFERENCIAS

- Aguilar R., S. y B. J. Castro P. 2006. Anatomía de la madera de doce especies del bosque mesófilo de montaña del Estado de México. *Madera y Bosques*.12(001): 95-115.
- Butorina, A. K. 1993. Cytogenetic study of diploid and spontaneous triploid oaks, *Quercus robur* L. *Annales des Sciences Forestries* 50: suppl. 1, 144-150.
- Calderón de Rzedowski, G. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A. C. -Centro Regional del Bajío/CONABIO. Pátzcuaro, Mich. México. pp. 34-89.
- Camacho C., A. y M. González E. 2002. Establecimiento temprano de árboles nativos en bosques perturbados de Los Altos de Chiapas, México. *Ecosistemas* 11(1). Enero 2002. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=307>.
- Curtis P., J. F. 1986. Microtecnia vegetal. Editorial Trillas. México, D. F. México. 106 p.
- De la Paz P. O., C., S. Vélez Jiménez y J. Ceja R. 2006. Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (Fagaceae) de Oaxaca, México (Parte A). *Madera y Bosques*, Primavera, 12 (001): 63-94.
- D'Emerico, S., P. Bianco, P. Medagli and B. Schirone. 1995. Karyotype analysis in *Quercus* spp. (Fagaceae). *Silvae Genetica* 44 (2-3): 66-70.
- D'Emerico, S., C. Paciolla and F. Tommasi. 2000. Contribution to the karyomorphology of some species of the genus *Quercus*. *Silvae Genetica* 49: 243-245.
- Duffield, W. J. 1940. Chromosome counts in *Quercus*. *American Journal of Botany* 27: 787-788.
- Flores M., S., I. Flores M., S. Romero R., C. Rojas Z. y L. E. Rubio L. 2006. Análisis citológico de ocho especies de encinos (*Quercus*, Fagaceae) en México. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 63(2): 245-250.
- Flores V., R., J. V. Rangel P., J. Quintanar O., M. E. Fuentes L. y L. Vázquez S. 2007. Calidad de maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. *Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente*. Enero-Junio, 13 (001):41-46.

- García V., A. 1989. Técnicas de citogenética vegetal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. México. 162 p.
- González R., A., D. M. Arias, S. Valencia and K. Oyama. 2004. Morphological and RAPD analysis of hybridization between *Quercus affinis* and *Q. laurina* (Fagaceae), two Mexican red oaks. American Journal of Botany 91: 401-409.
- Levan, A., K. Fredga and A. A. Sandberg. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. Hereditas 52: 201-220.
- Lewitsky, G. A. 1931. The Karyotype in systematics (On the base karyology of the subfamily Helleboreae). Bulletin of Applied Botanical and Genetic of Plant Breed 27: 220-240.
- Medjedovic, S. 1983. Citogenética varijabilnost *Quercus petrea*. U populacijama Bosne i Hercegovine. Simpozijum: Savremena Populaciono-geneticka istrazivanja u Jugoslaviji. Sarajevo, Bosnia & Herzegovina. 11-13 mai. p. 29.
- Mehra, P. N., A. S. Hans and T. S. Sareen. 1972. Cytomorphology of Himalayan Fagaceae. Silvae Genetica 21 (3-4): 102-109.
- Mendoza D., M. M., F. Zavala-Chávez y E. Estrada M. 2006. Hongos asociados a encinos en la porción noroeste de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente. Enero-Junio. 13 (001):41-46.
- Nixon, K. C. 1993. The genus *Quercus* in México. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot and J. Fa (Eds.). Biological Diversity of Mexico: Origins and distribution. Oxford University Press. London, UK. pp. 447-458.
- Ohri, D. and M. R. Ahuja. 1990. Giemsa C-banded karyotype in *Quercus* L. (oak). Silvae Genetica 39 (5-6): 216-219.
- Palacio P., J. L., G. Bocco, A. Velásquez, J. M. Mas, F. Takaki, V. A. Luna, L. Gómez, G. López, J. Palma, M. Trejo, I. Vázquez, A. Peralta, J. Prado, A. Rodríguez, R. Mayorga y M. F. González. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario Forestal Nacional 2000. Nota Técnica. Boletín del Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 43: 183-203.
- Rodríguez T., S. and R. Spellenberg. 1992. Chromosome numbers for five Chihuahuan species of *Quercus* (Fagaceae). Phytologia 72: 40-41.
- Romero Z., C. 1986. A new method for estimating karyotype asymmetry. Taxon 35: 526-530.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D. F., México. pp. 20-23.
- Santamour, F. S., Jr. 1962. The chromosome number of *Quercus dentata*. Bulletin Morris Arboretum 13: 28-30.
- Sax, H. J. 1930. Chromosome numbers in *Quercus*. Arnold Arbor. 11: 220-223.

- Stairs, R. G. 1964. Microsporogenesis and embryogenesis in *Quercus*. Botanical Gazette 2: 115-121.
- Stebbins, G. L. 1971. Chromosomal evolution in higher plants. Edward Arnold Ltd. London, UK. pp. 45-47.
- Valencia A., S., M. Gómez C. y F. Becerra-L. 2002. Catálogo de encinos del estado de Guerrero, México. INIFAP- División Forestal. Libro Técnico No. 1. México, D. F. México. 180 p.
- Valencia A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Boletín Sociedad Botánica de México 75: 33-53.
- Wang, L. M. 1986. A taxonomic study of the deciduous oaks in China by means of cluster and karyotype analysis. Bulletin of Botanical Research 6: 55- 69.
- Zavala Ch., F. 1990. Los encinos de México: un recurso desaprovechado. CONACyT. Ciencia y Desarrollo 16(95): 43-51.
- Zavala Ch., F. 1995. Encinos hidalguenses. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 133 p.
- Zoldos, V., D. Papes, M. Cerbah, O. Panaud, V. Besendorfer and S. Siliak-Yakvlev. 1999. Molecular-cytogenetic studies of ribosomal genes and heterochromatin reveal conserved genome organization among 11 *Quercus* species. Theoretical and Applied Genetics 99(6): 969-977.

NOTA TECNICA

MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO PARA *Pinus durangensis* Martínez EN SAN DIMAS, DURANGO

Juan Antonio López Hernández¹ y Arturo Gerardo Valles Gándara¹

RESUMEN

El índice de sitio es el método más utilizado en México y en otras partes del mundo para estimar la productividad de los terrenos forestales, ya que es una expresión numérica fácil de entender y es independiente de la densidad. El objetivo del presente estudio fue ajustar un grupo de modelos para predecir el índice de sitio de *Pinus durangensis* con datos derivados de una remediación de sitios permanentes establecidos en un bosque natural en el Ejido Vencedores en San Dimas, Durango. Se probaron 13 modelos matemáticos ajustados con el procedimiento de mínimos cuadrados, de los cuales 10 son lineales y tres no lineales; los lineales fueron: logarítmicos, cuadráticos y un modelo combinado, en tanto para los no lineales se trabajó con la función Chapman-Richards, la de Schumacher y el modelo Weibull. Se seleccionaron los mejores modelos de acuerdo al grado de ajuste o Pseudo R², la prueba de "F", el cuadrado medio del error (CME), la prueba de hipótesis de los estimadores y el signo del parámetro. Se encontró que el modelo que mejor estima el índice de sitio fue el modelo logarítmico 6 ($Ln[E/H] = \beta_0 + \beta_1[1/E]$), pues dio los valores más altos: en la prueba de R² de los residuales fue de 0.7419; el de CME fue de 0.01608 y un valor en la prueba de "F" de 221.304.

Palabras clave: Función Chapman-Richards, Función Schumacher, índice de sitio, modelo logarítmico, modelo Weibull, *Pinus durangensis*.

Fecha de recepción: 20 de junio de 2005.

Fecha de aceptación: 30 de abril de 2009.

¹ Campo Experimental Valle del Guadiana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP.
Correo-e: lopez.juanantonio@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Site index is the most commonly used method in Mexico and in several countries to estimate the productivity of forest lands, since it is a numerical expression easy to understand and density-free. The objective of this work was to adjust model groups to predict the site index of *Pinus durangensis* from data of a the remeasurement of 12 permanent plots settled in a natural forest in the Ejido Vencedores at San Dimas, Durango. Thirteen mathematical models were adjusted through the mean square procedure, ten of which are linear and three non-linear. Were adjusted three groups of models of linear simple regression, logarithmic, quadratic and a mixed model. In regard to the three non-linear, the Chapman-Richards and Schumacher functions as well as the Weibull model were tested. The best models were selected according to the degree of adjustment or Pseudo R², the F test, the mean square error (MSE), the test of hypothesis of the estimators and the sign of the parameter. Results show that provided the best site index estimation was the logarithmic 6 ($\text{Ln}[E/H] = \beta_0 + \beta_1[1/E]$) since it revealed the highest values for the residual R² test, which was 0.7419; MSE was 0.01608 and 221.304 in the F test.

Key words: Chapman-Richards function, Schumacher function, site index, logarithmic model, Weibull model, *Pinus durangensis*.

Los modelos matemáticos son una de las herramientas analíticas más utilizadas en la actualidad para la generación de conocimientos en el área del crecimiento y producción de masas forestales ya que, a través de fórmulas matemáticas, se representan los procesos biológicos que ocurren a nivel de árbol individual y del rodal completo (Mendoza, 1983 citado por Alemán, 2001). Un modelo de predicción de índice de sitio es un sistema para proporcionar descripciones cuantitativas del desarrollo del rodal en un cierto intervalo o tiempo determinado y bajo algunas condiciones y tratamientos silvícolas específicos; ejemplos de tales estudios están consignados en Clutter *et al.* (1983), Bojorges (1990), Aguilar y Aguilar (1991), Benavides (1991), Valles (1994), Dimas (1996), Monroy (1996), Alemán (2001), García (1997) y Borders *et al.* (1984 citado por Quiñones, 1995). Para el conocimiento de la productividad forestal es necesario contar con herramientas que ayuden a predecir el crecimiento de los bosques. Sin embargo, el crecimiento es afectado por una gran cantidad de factores, muchos de los cuales son difíciles de medir y más complejo aún, determinar.

El objetivo del estudio fue evaluar 13 modelos matemáticos para la predicción del índice de sitio con información de sitios permanentes para la estimación precisa del potencial de producción de los bosques de *Pinus durangensis* Martínez en el Municipio de San Dimas, Durango, donde se ubicó el sitio experimental en

la zona boscosa del Ejido Vencedores en el paraje denominado Mesa Verde. El Ejido se localiza al oeste de la ciudad de Durango, a una distancia aproximada de 197 km. Respecto a los puntos siguientes se describen de acuerdo con Soto (1990) y Valenzuela (2000).

El Ejido Vencedores está ubicado en la provincia de la Sierra Madre Occidental, en la sub-provincia de las mesetas y cañadas del sur. Su sistema de topografía es de sierra con laderas definidas u onduladas. Se definen tres tipos de formas: accidentada, ondulada y plana, las cuales están presentes en el predio a razón de 40% accidentada; 20 - 39% ondulada y 0 - 19% plana (Figura 1).

LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

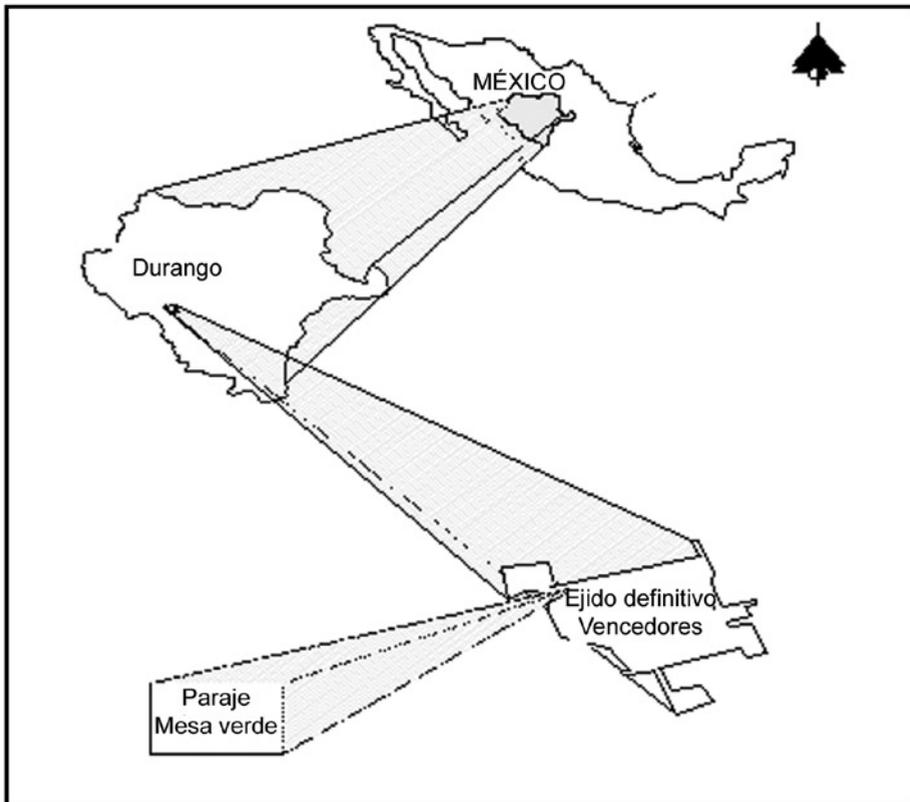


Figura 1. Localización del área de estudio en el Paraje Mesa Verde del Ejido Vencedores, Municipio de San Dimas, Dgo.

Pinus durangensis es un árbol de 20 a 40 m de altura y hasta 90 cm o más de diámetro. Fascículos de vaina persistentes con acículas en grupos de seis como cifra predominante, medianamente gruesas de 10 a 23 cm de largo, de color verde amarillento; conos ovoides o cónico ovoides, se presentan en pares o en grupos de tres, miden de 7 a 9 cm de largo y tienen un color moreno rojizo. Las escamas con umbo dorsal, tienen apófisis levantada, algo reflejada y subpiramidal, la cúspide saliente y provista de una espinita corta y delgada, semillas con ala, se le localiza principalmente en altitudes de 2,500 a 2,800 m; se asocia con *Pinus cooperi* Blanco, *P. teocote* Schiede ex Schtdl. & Cham., *P. cooperi* var. *ornelasi* Martínez, *P. herrerae* Martínez y *P. leiophylla* Schiede & Deppe, entre otros (Valenzuela, 2000).

El lugar de estudio fue establecido en 1998, bajo una red de sitios permanentes y como parte de un proyecto financiado por el Sistema de Investigación Regional Francisco Villa del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SIVILLA-CONACYT). Fue delimitado por personal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 4 “La Victoria-Miravalles” (UCODEFO No. 4), mediante una planeación estratégica en la que se consideran aspectos sobre las condiciones ecológicas en que habitan las especies forestales, su distribución, las especies dominantes más frecuentes, los tipos de exposición y las condiciones topográficas, así como las distintas clases de desarrollo de la especie en estudio. El sitio experimental comprende 12 parcelas permanentes de investigación silvícola (SPIS). Los sitios son circulares de 2,000 m² con una parcela central de 17.84 m y una franja de protección de 7.39 m. La delimitación se realizó físicamente donde se anillaron los árboles límites con pintura blanca, se colocó una estaca metálica en el punto central del sitio y una de madera en cada punto (N, S, E, W).

Para organizar la toma de datos, cada uno de los sitios se dividió en cuatro cuadrantes numerados en el sentido de las manecillas del reloj. Todos los árboles y tocones por sitio y cuadrante con un diámetro mayor de 7.5 cm también se numeraron, con un número metálico en la parte inferior del tocón. La ubicación se realizó de manera precisa en fotografías aéreas propiedad de la UCODEFO 4. El registro de la información se basó en la metodología de Sitios Permanentes de Investigación Silvícola (SPIS) aplicada por el INIFAP en trabajos previos y los formatos para la toma de datos fueron diseñados para registrar en cada árbol 21 variables: cuadrante, número progresivo, clave, especie, diámetro normal, diámetro tocón, altura total, altura del fuste, edad, corteza, vigor, sanidad, posición, forma, proyección copa noreste, proyección copa sur-este, proyección copa sur-oeste, proyección copa noroeste, tipo, incremento y tiempo de paso.

Con la finalidad de evaluar los modelos para la predicción del índice de sitio se utilizaron las bases de datos correspondientes a la medición de 1998. De las 21 variables se usaron ocho que son: sitio, número progresivo, cuadrante, clave, especie, altura, edad y sanidad de los árboles dominantes y codominantes de cada sitio-cuadrante. De esta forma se integró la base de datos definitiva para establecer la relación altura-edad la cual estuvo conformada por 78 árboles. Una vez que se integró la base de datos se almacenó en el Sistema de Análisis Estadístico (SAS) para su manejo estadístico.

Con el propósito de depurar los datos atípicos, en la Figura 2 se ilustra la base de datos final para lo cual se realizó un análisis gráfico en la que se observa que es adecuada para ajustar modelos de índice de sitio para *Pinus durangensis*, ya que la línea de tendencia presenta una marcada normalidad de los datos para estimarlo.

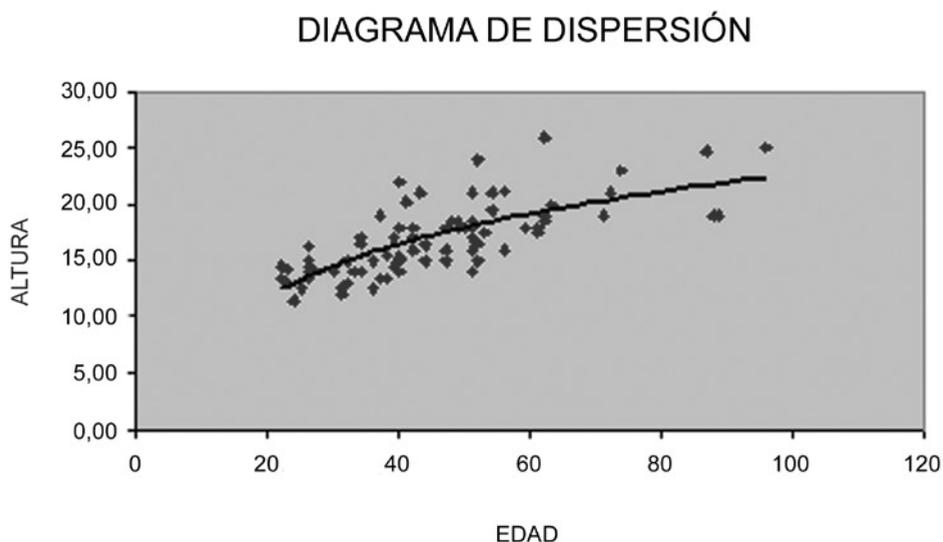


Figura 2. Diagrama de dispersión de la relación altura-edad para el ajuste de modelos matemáticos para estimar índice de sitio para *Pinus durangensis*.

En el Cuadro 1 se ordena la forma de los 10 modelos matemáticos lineales probados para predecir el índice de sitio en *Pinus durangensis*, que fueron ajustados mediante el paquete estadístico SAS a través del Método de Cuadrados Mínimos.

Cuadro 1. Modelos matemáticos lineales evaluados para predecir el índice de sitio en *Pinus durangensis*.

Modelo	Forma de la ecuación
$H = \beta_0 + \beta_1 E$	(1) Lineal
$H/E = \beta_0 + \beta_1 E$	(2) Lineal
$E/H = \beta_0 + \beta_1 E$	(3) Lineal
$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 (1/E)$	(4) Logarítmico
$\ln(H/E) = \beta_0 + \beta_1 (1/E)$	(5) Logarítmico
$\ln(E/H) = \beta_0 + \beta_1 (1/E)$	(6) Logarítmico
$H = \beta_0 + \beta_1 (E^2)$	(7) Cuadrático
$H/E = \beta_0 + \beta_1 (E^2)$	(8) Cuadrático
$E/H = \beta_0 + \beta_1 (E^2)$	(9) Cuadrático
$\log H = \beta_0 + \beta_1 (\log E \times \log E^2)$	(10) Combinado

H = Altura; E = Edad; β_0 β_1 = Parámetros a ser estimados.

En el Cuadro 2 se muestra la forma de los tres modelos matemáticos no lineales probados para predecir el índice de sitio para *Pinus durangensis*, mismos que fueron ajustados mediante el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS, mediante el método DUD.

Cuadro 2. Modelos matemáticos no lineales evaluados para predecir el índice de sitio en *Pinus durangensis*.

Modelo	Forma de la ecuación
$H = \beta_0 [1 - e^{(-\beta_1 E)}] \beta^2$	(11) Chapman-Richards
$H = \beta_0 e^{(-\beta E^{-1})}$	(12) Schumacher
$H = \beta_0 e^{(-\beta_1 E \beta^2)}$	(13) Weibull

Los 13 modelos propuestos para evaluar la predicción del índice de sitio en *Pinus durangensis* fueron seleccionados con base en otras investigaciones realizadas para predecirlo, los cuales han mostrado una estimación satisfactoria, como por ejemplo Aguilar y Aguilar (1991), Benavides (1991), Valles (1994), Quiñones (1995) y Monroy (1996).

En el Cuadro 3 se sintetizan las estadísticas más relevantes de los 10 modelos lineales evaluados en este estudio para predecir el índice de sitio.

Cuadro 3. Estadísticas relevantes en el ajuste de 10 modelos lineales de índice de sitio en *Pinus durangensis*.

Modelo	R ²	CME	F
1*	0.5386	4.80700	89.871
2	0.6542	0.00353	145.667
3*	0.7481	0.11123	228.721
4	0.5224	0.01628	84.209
5*	0.7419	0.01608	221.304
6	0.7419	0.01608	221.304
7*	0.4847	5.36838	72.421
8	0.5304	0.00480	86.967
9*	0.6863	0.13856	168.429
10*	0.5621	0.01512	48.769

Del conjunto de modelos se indica (*) que seis de ellos muestran el signo incorrecto (+) en su parámetro β_1 (edad); esto es una clara evidencia de que la variable independiente (edad) no tiene un comportamiento real de lo que es la biología del crecimiento y en este caso, en la predicción de la altura para aquellos árboles dominantes, codominantes y sanos.

De los cuatro modelos restantes y con el signo correcto en su parámetro β_1 (edad), los estadísticos permiten deducir que el modelo 2 lineal, el modelo 8 cuadrático y los modelos 4 y 6 logarítmicos son los más adecuados. Con relación al grado de ajuste de los modelos mediante el estadístico R², el cual advierte poca variación con respecto a los modelos 4 y 8 con R² = 0.5224 y R² = 0.5304, ambos

fueron superados por la ecuación lineal del modelo 2 con un $R^2 = 0.6542$. Sin embargo, de los cuatro mejores modelos la función logarítmica tipo Schumacher (modelo 6) es superior a todos los demás puesto que presenta el mayor grado de ajuste con un $R^2 = 0.7419$.

Lo anterior se corrobora al observar la prueba de F en dichos modelos, ya que arrojaron valores de 145.6, 86.9, 84.2 y 221.3, respectivamente y puesto que dicho estadístico es un parámetro que determina el grado de confiabilidad en un modelo de regresión, se acepta que el modelo 6 muestra un grado de ajuste superior a los otros tres modelos.

De acuerdo a las pruebas de ajuste practicadas y los resultados encontrados, se asume que el modelo 6 muestra un grado de explicación satisfactorio, dado que explican 74% de la variación del crecimiento en altura en función de la edad para aquellos árboles dominantes y codominantes de *Pinus durangensis*. Además, esta misma prueba indica la primera ruta sobre cuales modelos pueden contribuir mejor a la predicción del índice de sitio, respecto al modelo 6 que fue el que arrojó el mayor ajuste ($R^2 = 0.7419$) con relación a los modelos investigados.

Resultados similares se han encontrado para este modelo en los estudios de índice de sitio de Gale y Grigal (1987), Valles (1994), Monroy (1996), Pérez (1997) y Alemán (2001). Su habilidad predictiva del modelo tipo Schumacher se debe a que es una función de tipo logarítmico y con un comportamiento no necesariamente potencial, sino con un cambio mucho más ajustado en la pendiente a una curva de tipo sigmoideal, razón por la cual se aproxima más al fenómeno estudiado.

En el Cuadro 4 se presenta lo obtenido en relación al grado de ajuste de los tres modelos no lineales mediante el coeficiente de determinación R^2 . Estos modelos fueron ajustados mediante el procedimiento NLIN del Sistema de Análisis Estadístico (SAS) a través del Método DUD. De acuerdo a la prueba de bondad de ajuste para los modelos y los valores indicados anteriormente, se asume un grado de variabilidad no muy eficiente con valores de $R^2 = 0.54$, 0.51 y 0.56 , correspondiendo el mayor valor para el modelo 13 Weibull, el cual explica en 56% la variación en el crecimiento en altura. Sin embargo, falta juzgar la exactitud de los modelos, con base a la eficiencia de los estimadores CME y prueba de F.

Cuadro 4. Estadísticas relevantes del análisis de varianza para los tres modelos no lineales de índice de sitio para *Pinus durangensis*.

Modelo	R ²	CME	F
11 Chapman-Richards	0.54	4.788267	1587.38
12 Schumacher	0.51	5.045857	2257.08
13 Weibull	0.56	4.431208	2049.84

Se aprecia una diferencia considerable en la varianza en dichos modelos, mostrando la menor del modelo Weibull con CME = 4.431208 seguido por el de Chapman-Richards, CME = 4.788267 y por último el modelo tipo Schumacher con CME = 5.045857. Sin embargo, al analizar los valores de F se observa que no corresponden al comportamiento anterior, lo que se puede deber a la poca eficiencia de los propios modelos, dado que se advirtió una dificultad muy fuerte para su convergencia en los trabajos de ajuste matemático.

Se resumen los estadísticos de los parámetros para los modelos no lineales los cuales indican la tendencia con respecto a la ordenada al origen, y la pendiente de las curvas de ajuste y la forma de distribución en los datos originales. Para estos modelos no lineales es importante hacer un análisis del parámetro β_1 , dado que define la proyección de la curva de ajuste en el diagrama de dispersión original además de que β_0 marca la tendencia de desplazamiento de la curva de ajuste. Una manera más exacta para decidir sobre el mejor modelo no lineal de índice de sitio, es a través del coeficiente de variación (CV) del parámetro.

Este CV es la prueba más clara para seleccionar de entre los tres el mejor modelo de índice de sitio. En relación con dicho estimador en los modelos no lineales en el Cuadro 5 se sintetizan sus valores propios de CV de cada estimador. De acuerdo a los parámetros analizados de las tres funciones. El modelo Schumacher presenta un coeficiente de variación para $\beta_0 = 4.53$ y $\beta_1 = 10.40$ evidenciando un intervalo de variación considerable en β_1 , superando a los otros dos modelos. Lo anterior se corrobora con lo encontrado por Benavides (1991), el cual indica que el modelo Schumacher inicialmente se desarrolló para relacionar el volumen con la edad; sin embargo, el principal supuesto en que se basa el modelo, es que el crecimiento poblacional varía de forma inversa con la edad, una vez que alcanza dicho punto.

Cuadro 5. Coeficientes de variación de los parámetros en el ajuste de tres modelos no lineales en *Pinus durangensis*.

Modelo	β_0 (CV)	β_1 (CV)	β_2 (CV)
11 Chapman-Richards	14.6	71.7	46.1
12 Schumacher	0.53	10.40	
13 Weibull	19.2	66.9	32.6

Al realizar una comparación entre el modelo de Chapman-Richards y el modelo Weibull destaca que aunque el primero tiene una menor variación en la ordenada al origen con un valor en su parámetro β_0 con CV = 14.6, sus parámetros β_1 , β_2 no son estimadores eficientes con CV = 71.7 y 46.1, lo mismo para el modelo Weibull donde sólo sus estimadores son ligeramente mejores al modelo de Chapman-Richards (CV = 66.9 y 32.6); sin embargo, sus parámetros siguen siendo ineficientes para predecir el índice de sitio. Con relación a lo indicado y quizás por la naturaleza de la información, ya que los datos provienen de bosques manejados, se presume que algunos árboles dominantes, codominantes y sanos, fueron extraídos y es quizás la razón principal por lo cual, la eficiencia del estimador β_1 no es muy buena para el modelo Schumacher. Lo encontrado aquí concuerda con lo indicado por Quiñones (1995), Pérez (1997) y Alemán (2001). Ellos realizaron un estudio para generar y ajustar curvas de índice de sitio en el que se concluye que el modelo de Schumacher es el que mejor se adecuó para la construcción de estas curvas.

Los modelos ajustados con procedimientos de cuadrados mínimos ordinarios son los que muestran la mayor habilidad predictiva, ya que su comportamiento no es necesariamente potencial y se ajusta más a la relación logarítmica.

Se concluye que los modelos no lineales no presentan un mejor ajuste al fenómeno bajo estudio; aún más, sus parámetros estadísticos β_n no fueron estimadores eficientes puesto que se apreció una dificultad muy fuerte para su convergencia en los trabajos de ajuste matemático. El modelo de Schumacher ajustado con cuadrados mínimos no lineales es el mejor en contraste a las funciones matemáticas de Chapman-Richards y el modelo Weibull puesto que muestra los menores coeficientes de variación en sus parámetros.

De acuerdo a las pruebas de estadísticas practicadas al grupo de modelos de regresión, en este estudio se concluye que el mejor modelo para predecir el índice

de sitio en *Pinus durangensis* es el modelo 4 logarítmico, el cual constituye una herramienta útil para estimar el potencial del sitio en los bosques bajo manejo en el Ejido Vencedores.

REFERENCIAS

- Alemán V., R. 2001. Evaluación de la calidad de sitio para cuatro especies de pino en el P. P. Sierra del Nayar, municipio de Durango. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Escuela de Ciencias Forestales. Durango, Dgo. México. 80 p.
- Aguilar, R. M. y S. D. Aguilar 1991. Determinación de la “calidad de estación” en los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. *Rev. Cien. For. en Méx.* 16(69): 35-57.
- Benavides S., J. D. 1991. Índices de sitio para estimar la calidad de sitio en bosques de coníferas. *Rev. Cien. For. en Méx.* 16(69): 3-34.
- Bojorges S., J. D. 1990. Índice de sitio para oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham.) en Zoquiapan, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 57 p.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, H. G. Briester and R. L. Bailey. 1983. *Timber management: a quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. USA. 333 p.
- Dimas M., J. F. 1996. Producción y crecimiento de los bosques. *In: Memoria del VIII seminario de actualización*. Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Escuela de Ciencias Forestales. Durango, Dgo. México. pp. 1–25.
- Gale, M. R. and D. F. Grigal. 1987. Performance of a soil productivity index model used to predict site quality and production. *In: Proceedings of the IUFRO Forest Growth Modelling and Prediction Conference*. Minneapolis, MN. USA. pp. 24-28.
- García V., M. 1997. Crecimiento y producción de los bosques. *In: Memoria del VII seminario de actualización*. Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Escuela de Ciencias Forestales. Durango, Dgo. México. pp. 1-25.
- Monroy R., C. 1996. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, estado de Veracruz. *Rev. Cien. For. en Méx.* 21 (80):57-77.
- Pérez S., M. E. 1997. Evaluación de la calidad de sitio para *Pinus durangensis* y *Pinus teocote*, en el ejido la Cañita, Municipio de San Dimas, Dgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Escuela de Ciencias Forestales. Durango, Dgo. México. 82 p.
- Quiñones Ch., A. 1995. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques del Estado de Durango. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 133 p.

- Soto, F. 1990. Programa de manejo forestal para el Ejido Definitivo Vencedores Municipio de San Dimas, Dgo. UCODEFO No. 4 "La Victoria-Miravalles". Durango, Dgo. México. pp. 5-35.
- Valenzuela F., A. 2000. Reclasificación de los pinos del grupo Ponderosae en el Estado de Durango. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Escuela de Ciencias Forestales. Durango, Dgo. México. 63 p.
- Valles G., A. G. 1994. Evaluación de índices de competencia para predecir el crecimiento de árboles individuales de *Pinus cooperi* en San Miguel de Cruces Dgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. México. 98 p.
- Valles G., A. G., F. Islas G. 2002. Sistemas de ecuaciones de simulador del crecimiento maderable para la región de San Dimas, Durango. Publicación Especial No. 14 CEVAG-INIFAP. SAGARPA. Durango, Dgo. México. 55 p.

NOTA TÉCNICA

EFFECTO DE *Tillandsia recurvata* L. (Bromeliaceae) SOBRE EL ÉXITO REPRODUCTIVO DE *Fouquieria splendens* Engelm. (Fouquieriaceae)

Iván Castellanos-Vargas¹, Zenón Cano-Santana¹ y
Berta Hernández-López¹

RESUMEN

Algunas plantas epífitas son únicamente parásitas de espacio. Se describe a continuación el efecto que provoca la infestación de *Tillandsia recurvata* sobre el éxito reproductivo de *Fouquieria splendens*. El estudio se desarrolló en un matorral micrófilo-espinoso en Peña Blanca, Querétaro. En abril de 2005 se seleccionaron 66 individuos de *F. splendens*, a los cuales se les registró la cobertura, el número de agregaciones de *T. recurvata*, la cobertura promedio de tres agregaciones por cada forofito, el número de panículas, el número de flores con frutos y el número de flores muertas por panícula. El nivel de infestación de *T. recurvata* sobre *F. splendens* estuvo directamente correlacionado con el potencial reproductivo por unidad de área de cobertura del forofito ($r=0.31$, $P=0.014$); asimismo, hubo una correlación positiva y significativa entre el nivel de infestación y el número de flores muertas ($r=0.33$, $P=0.007$). Sin embargo, no se encontró correlación significativa entre el nivel de infestación y la proporción de frutos producidos por unidad de área de cobertura de *F. splendens* ($r = 0.05$, $P = 0.71$). Los resultados sugieren la existencia de una compensación reproductiva. Es probable que cuando existen altos niveles de infestación por *T. recurvata*, el forofito de *F. splendens* incrementa la producción de flores para así asegurar que el número de éstas con semillas se mantenga en la misma proporción que tendría si no estuviera infestada.

Palabras clave: Epífita, éxito reproductivo, *Fouquieria splendens*, panículas, Querétaro, *Tillandsia recurvata*.

Fecha de recepción: 07 de septiembre de 2007.

Fecha de aceptación: 01 de abril de 2009.

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: icv@ciencias.unam.mx

ABSTRACT

Some epiphyte plants are space parasites only. The effect that causes infestation of *Tillandsia recurvata* aggregations on reproductive success of *Fouquieria splendens* was analyzed. The study was carried out in a microphyll-thorny xeric scrub at Peña Blanca, Queretaro. In April 2005, sixty six individuals of *F. splendens* were selected, to register the cover, number of *T. recurvata* aggregations guests, cover mean of three *T. recurvata* aggregations by each phorophyte, panicles number, flowers with seeds and dead flowers by panicle. The infestation level of *T. recurvata* on *F. splendens* was correlated directly with number of flowers produced by cover phorophyte unit area ($r = 0.31$, $P = 0.014$); also, a significant positive correlation between infestation level and number of dead flowers was found ($r = 0.33$, $P = 0.007$). Nevertheless, there was not a significant correlation between infestation level and seeds produced by cover unit area of *F. splendens* ($r = 0.05$, $P = 0.71$). Results suggest that there is a possible reproductive compensation. When high infestation levels by *T. recurvata* exist, *F. splendens* phorophyte responds by increasing the production flowers in order to assure that the same number of structures with seeds stays in a similar proportion as if it was not infested.

Key words: Epiphyte, reproductive success, *Fouquieria splendens*, panicles, Queretaro, *Tillandsia recurvata*.

Las plantas epífitas tienen la ventaja de colonizar el dosel de árboles y arbustos sin la necesidad de invertir recursos en la producción de sistemas vasculares complejos (Madison, 1977; Smith *et al.*, 1986; Benzing, 1990; Reyes-García, 2001) y en algunas ocasiones, no establecen relaciones metabólicas con el forofito (Lüttge, 1989; Richards, 1995); sin embargo, han sido llamadas "parásitas de espacio" debido a que compiten con el hospedero por la luz (Valdivia, 1977; Lüttge, 1989; Richards, 1995). En contra parte, algunas veces son consideradas como comensalistas, excepto cuando modifican significativamente la morfología del forofito y además le ocasionan daños físicos (Benzing, 1990).

Por ejemplo, Stevens (1987) indica que las lianas son parásitos estructurales de los árboles femeninos de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. Las lianas para crecer necesitan estar en contacto físico con el forofito pero no extraen agua ni nutrimentos de su sistema vascular y sin embargo, su presencia reduce la producción de frutos del forofito.

Se ha registrado que una alta densidad de epífitas en una rama induce infecciones microbianas que pueden desembocar en su putrefacción y ruptura

(Lüttge, 1989). La epifitosis promueve que la planta asigne mayor proporción de sus recursos a la defensa contra la infestación, que a su reproducción (Valdivia, 1977).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la infestación de *Tillandsia recurvata* L. (Bromeliaceae) sobre el éxito reproductivo (número de flores capaces de producir semillas) de *Fouquieria splendens* Engelm. (Fouquieriaceae). Se espera que mientras mayor sea la infestación, disminuya el éxito reproductivo de *F. splendens*.

Este estudio se realizó en un área de 0.5 ha dentro de un matorral micrófilo-espinoso cerca de Peña Blanca, en el estado de Querétaro, próximo a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, localizada a los 20° 55' 23.6" N, 99° 43' 52.4" O, con una altitud de 1591 m. La precipitación en el área oscila entre 280 y 400 mm y la temperatura anual varía de 18 a 22°C.

Las especies más frecuentes son *Acacia perniciosa* L., *Condalia mexicana* Schlecht., *Fouquieria splendens* (ocotillo), *Koeberlinia spinosa* Zucc., *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville. (gobernadora) y *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnston (mezquite) entre otras (Rzedowski, 1981; Zamudio, 1984).

Fouquieria splendens (Fouquieriaceae) es un arbusto resinoso de 2 a 6 m de alto, con abundantes ramas delgadas, espinosas y extendidas desde la base; tiene hojas pequeñas de 2 a 3 cm de largo, éstas son caedizas en época de lluvias. Los tallos son fotosintéticos y tienen el metabolismo típico de las crasuláceas (Rzedowski, 1981; Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997). Posee flores rojas o anaranjadas agrupadas en panículas que raramente son blancas (Bowers, 2005). Esta especie se distribuye desde el norte del país hasta Querétaro; habita zonas semi-desérticas dominadas por matorral xerófilo y es abundante sobre suelos rocosos de origen calizo (Miranda y Hernández, 1963; Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997).

Tillandsia recurvata es una planta epífita de 8 cm de radio, agrupada por lo general en varias masas esféricas con un sistema rudimentario de raíces (Madison, 1977). Suele colonizar árboles y cables telefónicos. Posee tricomas foliares higroscópicos que le permiten condensar la humedad del viento y así absorber nutrimentos (Rzedowski, 1981). No ataca el sistema vascular de sus forofitos, sólo los utiliza como soporte y tiene fotosíntesis tipo C3 (Smith *et al.*, 1986). Las semillas son fusiformes, muy pequeñas y poseen vellos blancos y sedosos que le facilitan su adherencia a cualquier superficie (Miranda y Hernández, 1963).

En abril de 2005 se seleccionaron al azar 66 individuos de *F. splendens*. Se les midió la cobertura (CobF) mediante la fórmula propuesta por Kennet (1973) y Southwood (1978) (ecuación 1):

$$CobF = \pi \left[\frac{(d_1 + d_2)^2}{4} \right] \quad (1)$$

Donde:

d_1 = diámetro mayor (cm)

d_2 = diámetro perpendicular a d_1 (cm)

A cada individuo de *F. splendens* se le identificó el número de panículas, así como las flores totales por panícula (N_i); de éstas se eligieron tres al azar y en ellas se contabilizó el número de flores muertas (N_c) consideradas como no fecundadas y que se reconocieron por dejar una cicatriz en la panícula. Posteriormente se contaron las flores con frutos (N_f). Además, se registraron las agregaciones de *T. recurvata* (N_T), de las cuales se eligieron al azar tres, a las que se les midió la cobertura (Cob_T) mediante la ecuación 2:

$$CobF = \pi \left(\frac{d_T}{2} \right)^2 \quad (2)$$

Donde:

d_T = diámetro de *T. recurvata* (cm) a partir de su follaje.

La infestación de *T. recurvata* sobre *F. splendens* (I_t) se calculó con la ecuación 3:

$$I_t = \frac{Cob_T \times N_T}{Cob_F} \quad (3)$$

Donde:

Cob_T = cobertura de *T. recurvata* (cm²)

N_T = número de agregaciones de *T. recurvata*

Cob_F = cobertura de *F. splendens* (cm²)

La proporción de flores muertas (P_c) se calculó con la ecuación 4:

$$P_c = \frac{N_i \times N_c}{N_f} \quad (4)$$

Donde:

N_i = número total de flores por panícula de *F. splendens*

N_c = número de flores muertas por panícula de *F. splendens*

Con la ecuación 5 se calculó el potencial reproductivo de *F. splendens* (P_f):

$$P_f = \frac{N_i \times N_f}{Cob_F} \quad (5)$$

Donde:

N_f = número de flores con fruto por panícula de *F. splendens*

La proporción de frutos producidos (P_s) fue calculada con la ecuación 6:

$$P_s = \frac{N_s \times N_i}{Cob_F} \quad (6)$$

Donde

N = proporción de las flores con semillas

(N_f) = ponderadas en función de las flores muertas

(N_c) = calculada con la ecuación 7:

$$N_s = \frac{N_f}{N_c} \quad (7)$$

Se hicieron análisis de correlación entre I_t vs P_f , I_t vs P_c e I_t vs P_s .

De *F. splendens*, la Cob_F fue 5998.7 ± 15.2 cm² (promedio \pm error estándar). Se contaron 396 panículas; cada individuo tuvo en promedio 6.6 ± 1.5 panículas. Cada panícula estuvo integrada por 25 ± 3.5 flores (mínimo 21 flores, máximo 35 flores). Se encontraron 175 cicatrices de flores desprendidas y 127 flores con fruto ($n = 198$ panículas).

Se registraron 315 agregaciones de *T. recurvata* sobre *F. splendens*. Su Cob_T fue 16.5 ± 5.3 cm² ($n = 198$ agregaciones). La infestación de *T. recurvata* sobre *F. splendens* (I_t) fue de 0.866 (casi 87%). La proporción de flores muertas (P_c) de *F. splendens* fue de 11.55 flores/cm². La proporción de frutos producidos (P_s) por *F. splendens* alcanzó 0.048 frutos/cm². Por su parte, se estimó un potencial reproductivo (P_f) de *F. splendens* de 8.42 flores con semilla por panícula/cm².

Se verificó una correlación positiva y significativa entre la infestación de *T. recurvata* y el potencial reproductivo (P_f) de *F. splendens* ($r_{63} = 0.31$, $P = 0.014$) (Figura 1). La fracción de varianza (r^2) explicada por esta correlación fue de 9.37%.

Existe una correlación positiva y significativa entre la infestación de *T. recurvata* (I_t) y la producción de flores muertas (P_c) ($r_{63} = 0.33$, $P = 0.007$) (Figura 2). La fracción de varianza (r^2) explicada por esta correlación fue de 11.03%.

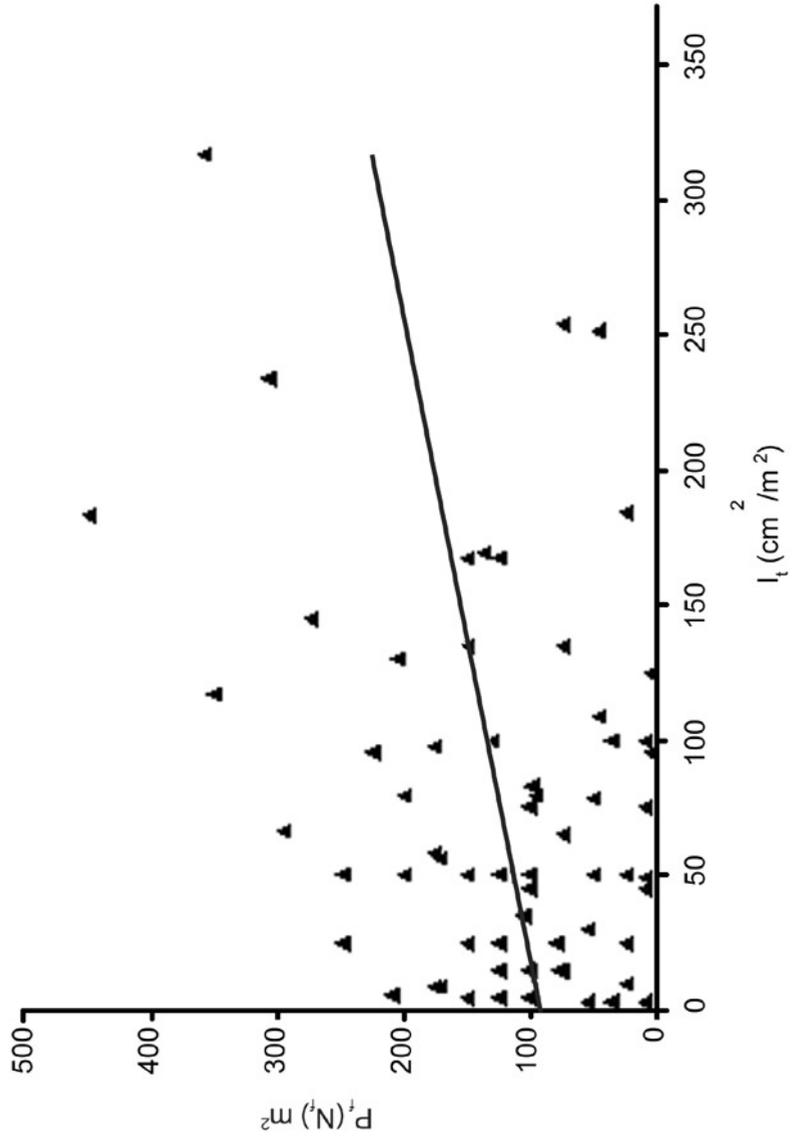


Figura 1. Relación entre la infestación de *Tillandsia recurvata* (I_t) y el potencial reproductivo (P_t) de *Fouquieria splendens* en un matorral microfillo-espinoso de Peña Blanca, Querétaro.

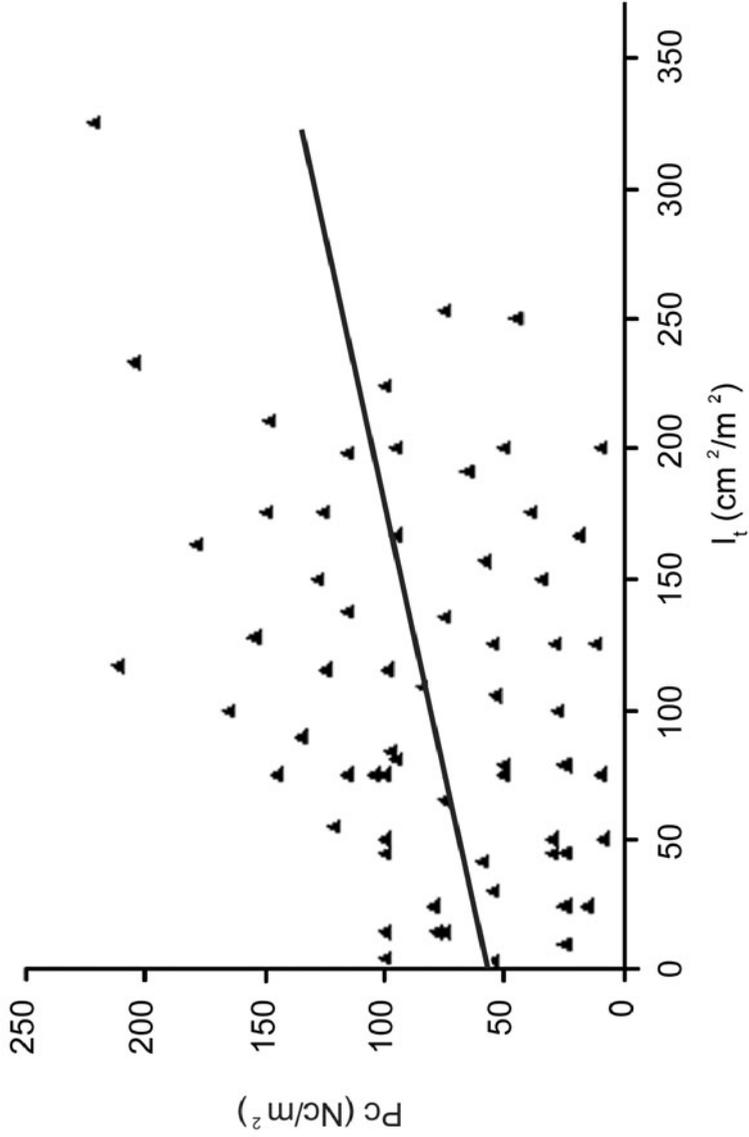


Figura 2. Relación entre la infestación de *Tillandsia recurvata* (I_t) y la proporción de flores muertas (P_c) de *Fouquieria splendens* en un matorral micrófilo-espinoso de Peña Blanca, Querétaro.

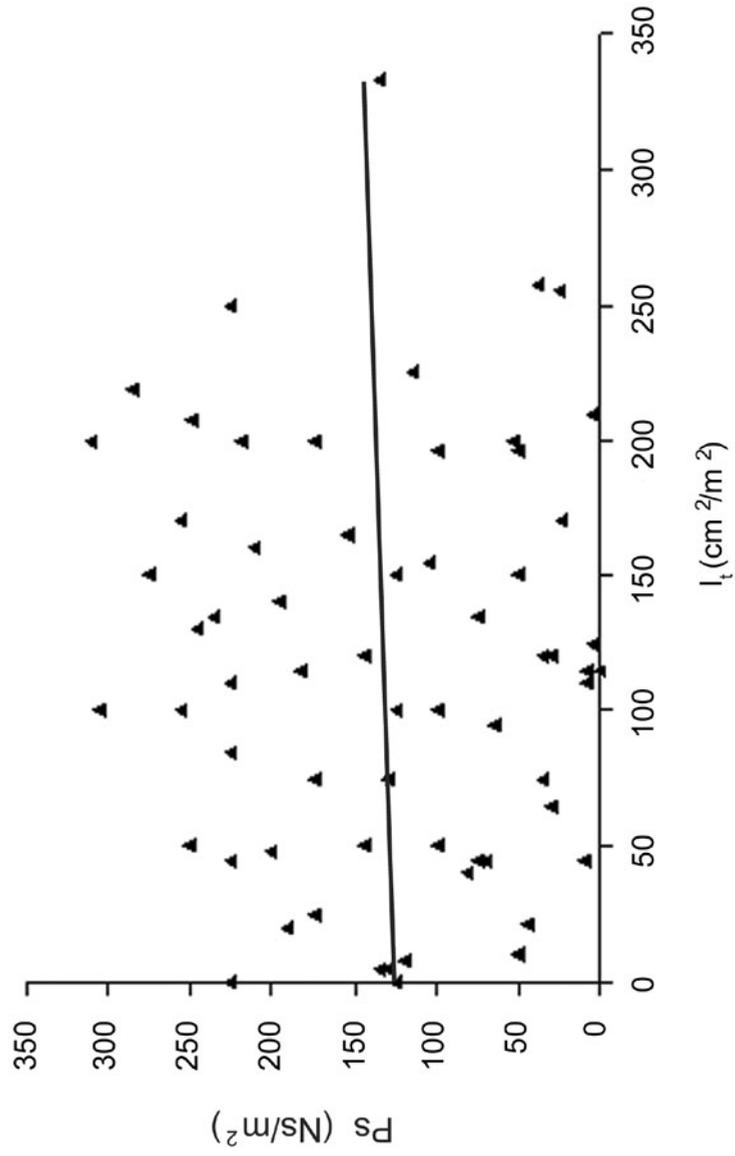


Figura 3. Relación entre la infestación de *Tillandsia recurvata* (I_i) y la proporción de frutos producidos por m^2 de cobertura (P_s) de *F. splendens* en un matorral microfilo-espinoso de Peña Blanca, Querétaro.

Se registró una correlación no significativa entre la infestación de *T. recurvata* (I_t) y la proporción de frutos producidos (P_s) por m² de cobertura ($r^2 = 0.05$, $P = 0.71$) (Figura 3). En este caso, la fracción de varianza explicada (r^2) fue de 0.22%.

La infestación de *T. recurvata* sobre *F. splendens* estuvo correlacionada directamente con el número de flores no exitosas producidas por unidad de área. Este hecho sugiere que la presencia de *T. recurvata* tuvo un efecto negativo sobre el forofito, ya que reduce las posibilidades de éxito para la producción de frutos.

Los resultados obtenidos revelaron la existencia de una alta proporción de flores muertas (P_c) (ca. 11.55 flores/cm² de cobertura de *F. splendens*), así como también una muy baja proporción de frutos producidos (P_s), pues este valor apenas alcanzó 0.048 frutos/cm² de cobertura de *F. splendens*. Estos resultados pueden deberse a los efectos indirectos que provoca la presencia de *T. recurvata* sobre su planta hospedera como son la reducción de la captación de luz solar y el incremento de la mortalidad de tejidos (Valdivia, 1977; Stevens, 1987; Lüttge, 1989; Richards, 1995).

Lo anterior sugiere la posible existencia de un fenómeno de compensación por parte del forofito, ya que al estar más infestado por *T. recurvata*, el potencial reproductivo (P_r) también se incrementó de manera proporcional (Figura 1). Al adoptar esta estrategia, es posible que *F. splendens* logre asegurar que se fecunde la misma cantidad de óvulos que si no estuviera infestada. Los estudios en otras especies acerca de esta forma de compensación han mostrado que las áreas foliares no dañadas son capaces de acelerar la maduración de nuevas hojas, de manera que puedan absorber grandes cantidades de carbono y así destinar los recursos fotosintéticos a las estructuras reproductoras (Lehtila y Syrjänen, 1995; Kaitaniemi y Honkanen, 1996; Thompson *et al.*, 2003).

En este estudio, la reducción del área fotosintética fue causada por la infestación de *T. recurvata* y, aunque no se midió directamente la tasa fotosintética de *F. splendens*, se puede intuir que los recursos obtenidos por el arbusto fueron asignados a una producción adicional de flores para compensar la proporción de las que no fueron exitosas (Figura 2).

Por su parte, la infestación de *T. recurvata* y la proporción de frutos producidos por unidad de cobertura (Figura 3) no estuvieron correlacionadas. Este resultado refleja un patrón muy similar al reportado por Bowers (2005) quien demostró que el tamaño de la panícula (considerado como el promedio de flores con semillas) no estuvo correlacionado significativamente con el tamaño de la planta, ni con el número de las ramas con flores.

Según esta autora, el tamaño de las panículas es un estimador confiable de la cantidad de frutos que el forofito produce por unidad de cobertura. La cantidad de flores y panículas que *F. splendens* produce puede ser afectada por la humedad edáfica y atmosférica que prevalecen en la localidad. Los datos de su investigación para un año seco mostraron la presencia de muchas panículas con pocas flores; mientras que en un año húmedo consecutivo, se encontraron menos panículas pero con muchas más flores por panícula. En su discusión, incluye que aunque las flores parecieron normalmente abundantes en el año con más lluvia, el promedio de flores por rama en realidad fue 39% menor que en relación con el año seco. El porcentaje de frutos producidos por panícula durante el año húmedo fue 36% más del doble registrado durante el año seco. Estos datos reflejan que la producción de flores por rama fue suficiente durante el año seco para compensar la baja producción de frutos en ese año, lo que resultó en casi la misma proporción para el siguiente ciclo húmedo.

Se requieren estudios más detallados para precisar el efecto que tiene la humedad en el éxito del establecimiento, crecimiento y reproducción de *T. recurvata* sobre *F. splendens*, así como determinar el de la humedad sobre el número de frutos producidos por cada rama, su calidad en términos de biomasa y su capacidad germinativa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su más sincero agradecimiento a los miembros del grupo 5175 de Ecología I (semestre 2005-II) por su invaluable ayuda en el trabajo de campo, así como a Marco A. Romero por el apoyo técnico y a José G. García Franco por el apoyo bibliográfico. Dos revisores anónimos mejoraron el manuscrito.

REFERENCIAS

- Arreguín-Sánchez M. L., L. G. Cabrera, N. R. Fernández, L. C. Orozco, C. B. Rodríguez y B. M. Yopez. 1997. Introducción a la flora del Estado de Querétaro. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ). Santiago de Querétaro, Qro. México. 361 p.
- Benzing, D. H. 1990. Vascular epiphytes: general biology and related biota. Cambridge University Press. Cambridge, MA. USA. 690 p.
- Bowers, J. E. 2005. Influence of plant size and climatic variability on the floral biology of *Fouquieria splendens* (ocotillo). *Madroño* 52: 158-165.

- Kaitaniemi, P. and T. Honkanen. 1996. Simulating source-sink control of carbon and nutrient translocation in a modular plant. *Ecological Modelling* 88: 227–240.
- Kennet, A. K. 1973. Quantitative and dynamic plant ecology. Edward Arnold Ltd. London, UK. 309 p.
- Lehtila, K. and K. Syrjänen. 1995. Compensatory responses of two *Melampyrum* species after damage. *Functional Ecology* 9: 511–517.
- Lüttge, U. 1989. Vascular plants and epiphytes: evolution and ecophysiology. *Nature Wissenschaften* 72: 557-566.
- Madison, M. 1977. Vascular epiphytes: their systematic occurrence and salient features. *Selbyana* 2: 1-13.
- Miranda, F. y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 28: 29-179.
- Reyes-García, C. 2001. Ecofisiología de epifitas de selva baja caducifolia del género *Tillandsia* (Bromeliaceae): estacionalidad y fotosíntesis. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 81 p.
- Rzedowski, J. 1981. Vegetación de México. Editorial Limusa. México D. F. México. 430 p.
- Richards, P. W. 1995. Tropical rain forest: an ecological study. Cambridge University. Press, Cambridge, MA. USA. 670 p.
- Smith, J. A. C., H. Griffiths and U. Lüttge. 1986. Comparative ecophysiology of CAM and C3 Bromeliads: the ecology of the Bromeliaceae in Trinidad. *Plant Cell and Environment* 9: 359-376.
- Southwood, T. R. E. 1978. *Ecological Methods*. Chapman and Hall. London, UK. 255 p.
- Stevens, G. S. 1987. Lianas as structural parasites: the *Bursera simaruba* example. *Ecology* 68: 77-81.
- Thomson, V. P., S. A. Cunningham, M. C. Ball and A. B. Nicotra. 2003. Compensation for herbivory by *Cucumis sativus* through increased photosynthetic capacity and efficiency. *Oecologia* 134: 167-175.
- Valdivia, E. P. 1977. Las epifitas. Estudio botánico y ecológico de la región del Río Uxpanapa, Veracruz. *Biotica* 2: 55-71.
- Zamudio R., S. 1984. La vegetación de la cuenca del río Estórax en el estado de Querétaro y sus relaciones fitogeográficas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 275 p.

DRA. MARÍA VALDÉS RAMÍREZ PREMIO NACIONAL DE CIENCIAS Y ARTES 2008

La Dra. María Valdés Ramírez es miembro del Consejo Consultivo de la Revista Ciencia Forestal en México desde el establecimiento del Comité Editorial en 1999. Por su amplia trayectoria profesional y sus importantes aportaciones al conocimiento científico, fue acreedora al Premio Nacional de Ciencias y Artes 2008, en el campo de la Tecnología y el Diseño, que le fuera entregado por el C. Presidente de la República, Lic. Felipe Calderón Fournier, a principios del año en curso. Como un sencillo homenaje a su desempeño, a continuación se presenta su semblanza.



María de los Ángeles Valdés Ramírez nació en Matamoros, Tamps., México, en donde cursó sus estudios básicos. Es egresada de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde estudió la carrera de Biología. Su especialidad en las ciencias del suelo (Agronomía) la realizó en el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia y la Facultad de Ciencias de la Universidad de Caen de ese país, le otorgó el grado de Doctor en Ciencias. Pertenece al personal docente e investigador de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), en la cual durante 40 años ha sido responsable del Laboratorio de Microbiología Agrícola y como docente imparte las materias de Ecología, Microbiología del Suelo y Biotecnología a nivel de licenciatura y de posgrado.

Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores como Investigador Nacional nivel III y su área de interés principal consiste en la relación entre los microorganismos benéficos del suelo y las plantas, a efecto de fomentar su desarrollo y productividad.

Sus aportaciones se han transferido directamente a los sectores forestal y agrícola; ha sido asesora científica de la antigua Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), así como de diferentes instituciones nacionales e internacionales. En particular se refieren al uso adecuado de los microorganismos que viven asociados a las raíces de las plantas, lo que no sólo ha conducido al desarrollo de tecnologías forestales, sino también al conocimiento de la ecología molecular de los mismos, a la identificación de un arbusto nativo (*Adolphia infestans* (Kunth) Meisn.) portador de nódulos fijadores de nitrógeno y de un actinomiceto fijador de nitrógeno no simbiótico (*Micromonospora*) que vive en las raíces de algunos árboles.

El descubrimiento y la caracterización genética del actinomiceto fijador de nitrógeno *Micromonospora* L5 (conducente a diferentes tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado), dadas las propiedades intrínsecas de los actinomicetos de producción de metabolitos importantes en la industria y en el ambiente, ha conducido a investigadores de diferentes países (España, Japón, Alemania, Italia y Túnez) a la búsqueda de este mismo tipo de microorganismos en otras plantas tanto actinorrízicas como leguminosas. Por estas razones, el Departamento de Energía de Estados Unidos de América le ha aprobado a la Dra. A. M. Hirsch de la Universidad de California Los Ángeles (UCLA) y a la Dra. Valdés, un proyecto sobre la secuenciación del genoma de *Micromonospora* L5. También describió la diversidad genética de cepas no cultivables del actinomiceto *Frankia* en el interior de los nódulos fijadores de nitrógeno del *Casuarina equisetifolia* L., diversidad sólo descrita en el lugar de origen del árbol.

Su trabajo de investigación sobre la reforestación de una zona del Valle de México con el uso selectivo de hongos micorrizógenos fue premiado por la Academia Mexicana de Ciencias, trabajo multicitado que sirvió como tecnología de referencia para la introducción al país de la empresa internacional de US (PHC) productora de inoculantes para plantas. También desarrolló dos tecnologías de inoculación de pinos en vivero de fácil uso para viveristas.

En el área de fijación de nitrógeno, desarrolló un método de inoculación de fijadores de nitrógeno para el mejor crecimiento del huaje (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. en suelos ácidos de la costa de Chiapas. En esta misma área de investigación, llevó a cabo la identificación de plantas actinorrízicas fijadoras de nitrógeno en el territorio mexicano, recurso natural que no se conocía en el país.

Ha formado diferentes grupos de investigación en otras instituciones como en el Colegio de Postgraduados, en las universidades de Guerrero, de Sinaloa, de Colima, de Tamaulipas (con beca de la ANUIES y Cátedra Patrimonial II otorgada por CONACyT) y en el Centro de Biotecnología Genómica, IPN.

En cuanto a la formación de recursos humanos, ha dirigido 38 tesis de licenciatura, 23 de maestría y 11 de doctorado. Ha publicado 87 artículos de investigación y 15 de divulgación, ocho capítulos en libros internacionales y dos en nacionales, así como tres libros sobre docencia. Un buen número de los recursos humanos que ha formado son miembros del SNI desde candidatos hasta nivel III.

Los patrocinadores de su investigación son: CONACyT, INIFAP/CONACyT, COSNET/SEP, CGPI/IPN, IFS (Suecia), NAS/AID (Estados Unidos de América), US MEXUS (Estados Unidos de América), UC MEXUS/CONACyT, Pacific RIM (UCLA, Estados Unidos de América), NSF/CONACyT (Estados Unidos de América/México), CONAFOR/CONACyT, SEP/CONACyT.

María Valdés ha recibido distinciones y premios tanto nacionales como internacionales. Su semblanza aparece en el libro "Mujeres Mexicanas del Siglo XX: la otra revolución". Fue Presidente de la Sociedad Mexicana de Micología y de la Sociedad de Fijación de Nitrógeno. Fue miembro de la Junta Consultiva de Ciencia y Tecnología del Estado de Tamaulipas (CONACyT), es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, Miembro Titular de la Academia Nacional de Ciencias Agrícolas de México y Miembro de Número de la Academia Nacional de Ciencias Forestales.

Además, ha participado en diferentes comités de CONACyT; en el Foro Nacional de Ciencia y Tecnología 2006-2008; en el Scientific Advisory Comitee

(Forest Resources) y en el Gender Advisory Group de Internacional Foundation for Science para África, Asia y América Latina. También ha sido miembro del Jurado del Premio Nacional de Ciencias y del Jurado de Premio Nacional Forestal; así como de Jurados Internacionales Científicos; la V Internacional Conference on Mycorrhizae en Granada, España (2006); de la Internacional Foundation for Science y del Institut de Recherche pour le Développement en Antananarivo, Madagascar (2008).

Entre otros grupos colegiados, es miembro del Comité Editorial de varias revistas científicas nacionales e internacionales como Mycorrhiza (Springer, Alemania), Ciencia Forestal (México) y revisor de diferentes revistas nacionales.

Como investigador visitante ha estado en diferentes instituciones del extranjero como Texas A & M University, Michigan State University, Yale University, University of California Los Angeles, Institut de Recherche pour le Développement de Francia y Agriculture and Agri-Food Canada.

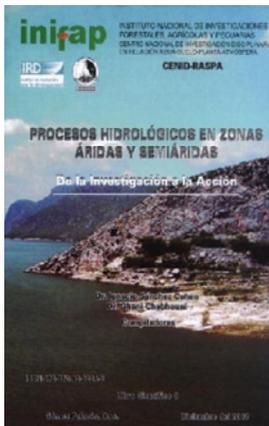
En reconocimiento a su incansable labor profesional, la doctora María Valdés ha recibido varios premios, entre los que destacan: la Medalla de Ecología de la Academia Mexicana de Ciencias (1986); la Presea “Lázaro Cárdenas” (1992); el Premio a la Investigación del Programa del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del IPN 1996-1997; el Premio a la Investigación “Mérito Politécnico” (1999); el Premio Nacional al Mérito Forestal (2002). Fue elegida como un “Story Case” en América Latina por los 25 años de la creación de la Internacional Foundation for Science y ha sido candidato al premio UNESCO/H., Rubinstein (Francia) “Women in Science” (1998) y al Sven Brohult, Suecia (1998 y 2003).

En ocasión del Premio Nacional de Ciencias y Artes 2008, la doctora Valdés comentó: “El premio representa, además de un gran orgullo, la satisfacción de que se reconozca el trabajo que realizamos muchos investigadores para ser útiles a la sociedad a la que nos debemos”.

RESEÑA DE PUBLICACIONES FORESTALES ELABORADAS POR INVESTIGADORES DEL INIFAP

Carlos Mallén Rivera¹, Cecilia Nieto de Pascual Pola¹
y Georgel Moctezuma López¹

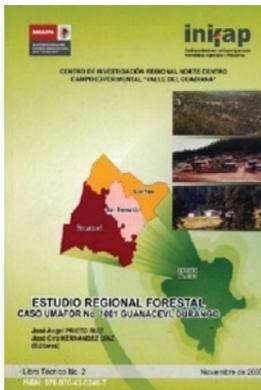
Sánchez C., I. y G. Chebhouni (Comp). 2007. Procesos hidrológicos en zonas áridas y semiáridas. De la investigación a la acción. Libro Científico No. 3. CENID RASPA, INIFAP. Gómez Palacio, Dgo. México. 197 p. ISBN 978-970-43-0224-5.



Más del 86% del producto interno bruto de la agricultura en México procede de las zonas áridas y semiáridas del norte del país donde se ubican los principales distritos de riego pero también 77 % de la población, que cuenta sólo con 32% del escurrimiento que se genera. En el ámbito del manejo integrado del agua, el estudio del balance hidrológico es de crucial importancia para conocer cuantitativamente las variables que rigen la disponibilidad de este recurso. La obra compendia los trabajos presentados en el Simposio Internacional del Manejo Integrado del Agua celebrado en Ciudad Victoria, Tamps., en 2006.

Informes: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

Prieto R., J. A. y J. C. Hernández D. (Eds.). 2007. Estudio regional forestal. Caso UMAFOR No. 1001 Guanaceví, Durango. Libro Técnico No. 2. CIRNOC, INIFAP. Durango, Dgo. México. 256 p. ISBN 978-970-43-0246-7.

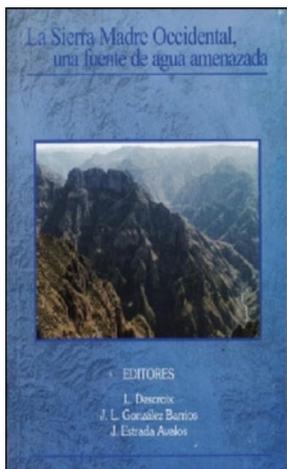


La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable establece las Unidades de Manejo Forestal de manera que las actividades de protección, conservación, restauración y comercio se realicen en forma conjunta. Una herramienta para lograrlo son los Estudios Regionales Forestales que apoyan la toma de decisiones. En este sentido se formuló el Estudio de la Unidad Guanaceví, primero en el estado de Durango y uno de los iniciales en México cuyos resultados han sido de utilidad para los productores, consultores, funcionarios y la sociedad.

Informes: prieto.jose@inifap.gob.mx

¹ Comité Editorial de la Revista *Ciencia Forestal en México*.

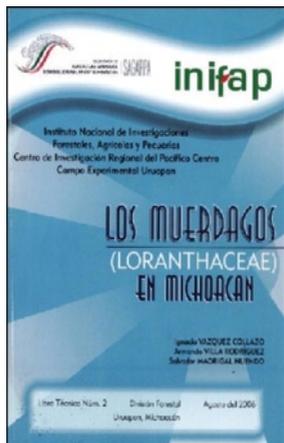
Descroix, L., J. L. González B. y J. Estrada A. (Eds.). 2004. La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. CENID RASPA, INIFAP, Institut de Recherche pour le Développement. Gómez Palacio, Dgo. México. 300 p. ISBN 968-800-584-3.



El incremento demográfico, la deficiente gestión, ineficaces sistemas comunitarios, la falta de una cultura ambiental y la mentalidad pionera condujeron a la sobreexplotación de los recursos hídricos. El caso de la cuenca endorreica de los ríos Nazas-Aguanaval, cuyas aguas superficiales como las subterráneas se utilizan casi exclusivamente para el riego agrícola en un distrito de riego de 160 mil ha se muestran en una obra que refiere a investigaciones hidrológicas en la cuenca y muestran el impacto de la degradación del medio biofísico y la urgencia de adoptar una gestión patrimonial, sobre todo a la escala cuenca vertiente.

Informes: gonzalez.barrios@inifap.gob.mx

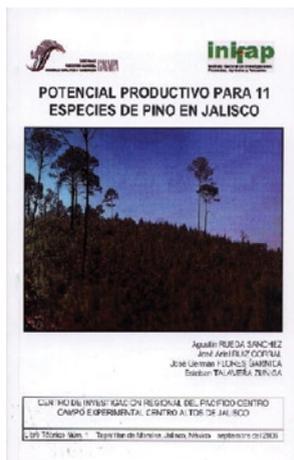
Vázquez C., I., A. Villa R. y S. Madrigal H. 2006. Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán. Libro Técnico No. 2. CIRPAC, INIFAP. Uruapan, Mich. México. 98 p. ISBN 968-800-644-0.



Los muérdagos son parásitos abundantes en México que afectan amplias extensiones de arbolado al mermar la producción de conos y semillas, así como el crecimiento de los árboles. En esta obra se registra la presencia de diez géneros y 151 especies de distribución nacional. Debido a su efecto, es necesario implementar medidas de evaluación y control; pero realizarlas tienen un alto costo, además de ser necesario conocer a estos organismos en su distribución, hospedantes, ciclo de vida, hábitos y rango altitudinal. Así mismo, se aporta información para detectarlos e implementar medidas de control adecuado, oportuno y de bajo costo.

Informes: vazquez.ignacio@inifap.gob.mx

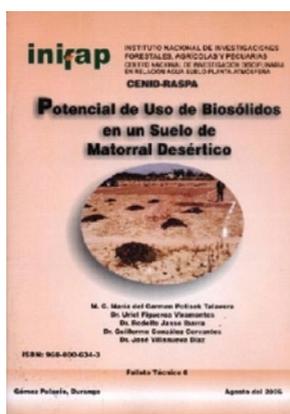
Rueda S., A., J. A. Ruiz C., J. G. Flores G. y E. Talavera Z. 2006. Potencial productivo para 11 especies de pino en Jalisco. Libro Técnico No. 1. CIRPAC, INIFAP. Guadalajara, Jal. México. 175 p. ISBN 968-800-460-X.



El éxito en las plantaciones obedece, en gran medida, a que la ubicación de las especies sea en áreas que reúnan los requerimientos ecológicos de las especies, permitiendo así que las plantas tengan una adaptación rápida al nuevo medio, lo cual favorecerá un alto grado de competitividad contra herbáceas y arbustivas nativas. No obstante que el problema es reconocido por las áreas operativas, la falta de información origina resultados insatisfactorios en los programas de reforestación. Lo anterior motivó la delimitación de las áreas potenciales para el desarrollo de plantaciones de especies de pino en el estado de Jalisco.

Informes: flores.german@inifap.gob.mx

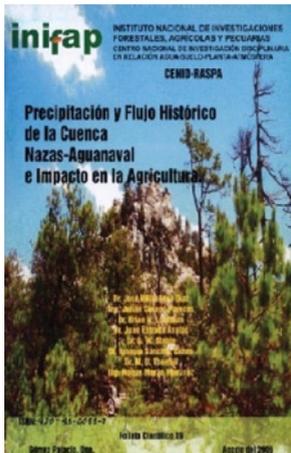
Potisek T., M. C., U. Figueroa V., R. Jasso I., G. González C. y J. Villanueva D. 2006. Potencial de uso de biosólidos en un suelo de matorral desértico. Folleto Técnico No. 6. CENID RASPA, INIFAP. Gómez Palacio, Dgo. México. 38 p. ISBN 968-800-634-3.



Los lodos que resultan del proceso de las plantas tratadoras de agua residual son un producto que se genera inevitablemente y cuando cumplen con la norma para poder clasificarse como residuos no peligrosos, se consideran como biosólidos; estos pueden aprovecharse como abono orgánico, cuya incorporación en pastizales y mezquites es una alternativa de disposición final que, bajo un manejo adecuado, se tiene la posibilidad de convertirlas en superficies con alto potencial productivo

Informes: potisek.carmen@inifap.gob.mx

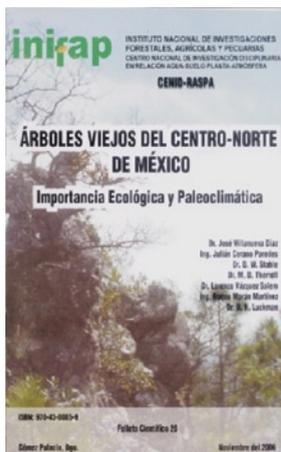
Villanueva D., J., J. Cerano P., B. H. Luckman, J. Estrada A., D. W. Stahle, I. Sánchez C., M. D. Therrell y R. Morán M. 2006. Precipitación y flujo histórico de la cuenca Nazas – Aguanaval e impacto en la agricultura. Folleto Científico No. 19. CENID RASPA, INIFAP. Gómez Palacio, Dgo. México. 44 p. ISBN 970-43-0055-7.



La Comarca Lagunera debe gran parte de su existencia a los servicios ambientales, en particular al agua. Sin embargo, su explotación está abatiendo el acuífero, originando problemas como el aumento en la concentración de iones tóxicos, como es el arsénico, lo que pone en riesgo la salud de la población. La disponibilidad de datos climáticos para su análisis tiene la limitante de su corta extensión y dudosa calidad; por su parte, el estudio de los anillos de crecimiento constituye un mecanismo más adecuado para analizar la variabilidad hidroclimática, en cuyo contexto, el folleto describe los eventos hídricos en los últimos 600 años.

Informes: villanueva.jose@inifap.gob.mx

Villanueva D., J., J. Cerano P., D. W. Stahle, M. D. Therrell, L. Vázquez S., R. Morán M. y B. H. Luckman. 2006. Árboles viejos del Centro – Norte de México. Importancia ecológica y paleoclimática. Folleto Científico No. 20. CENID-RASPA, INIFAP. Gómez Palacio, Dgo. México. 46 p. ISBN 970-43-0085-9.



Los bosques viejos prácticamente han desaparecido; no obstante, en algunos sitios de difícil acceso todavía se encuentran relictos. Dada la gran diversidad de ecosistemas en México es difícil desarrollar para cada uno estudios específicos de dinámica poblacional o dendrocronológicos. Este folleto amalgama una serie de esfuerzos para determinar la edad de algunos especímenes propios de ecosistemas de montaña y de bosques de galería con edades que llegan a sobrepasar el milenio. La información es valiosa para fundamentar acciones de conservación de sitios con la presencia de ejemplares de gran longevidad.

Informes: villanueva.jose@inifap.gob.mx

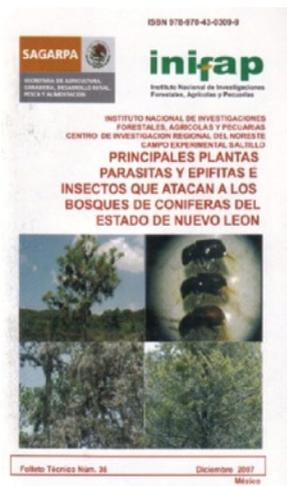
Villavicencio G., E., A. Cano P., I. H. Almeyda L. y M. A. Arellano G. 2006. Nueva técnica para la producción comercial del bonete o birrete de obispo (*Astrophytum myriostigma* Lem.) cactácea ornamental del Desierto Chihuahuense. Folleto para Productores No. 12. CIRNE, INIFAP. Saltillo, Coah. México. 10 p. ISBN 970-43-0118-9.



Mediante la aplicación de biotecnología se generó un nuevo procedimiento para la propagación de una de las especies de cactáceas ornamentales del Desierto Chihuahuense en estatus de riesgo; esto representa un importante avance tecnológico, debido a que mediante su implementación se logró su multiplicación de forma rápida y segura. Con ello se fomenta la conservación de recursos filogenéticos y se impulsa la actividad ornamental regional y nacional con productos rentables de alto valor agregado.

Informes: villavicencio.edith@inifap.gob.mx

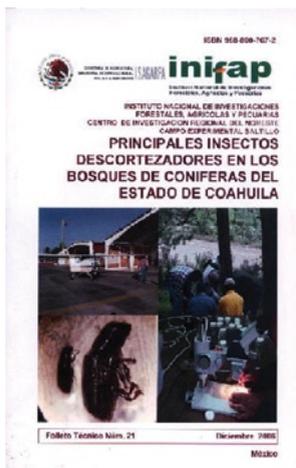
Sánchez S., J. A., L. M. Torres E. y D. Castillo Q. 2007. Principales plantas parásitas y epífitas e insectos que atacan a los bosques del estado de Nuevo León. Folleto Técnico No. 36. CIRNE, INIFAP. Saltillo, Coah. México. 35 p. ISBN 978-970-43-0309-9.



Los géneros de las principales plantas parásitas de los bosques de coníferas en el estado de Nuevo León, son *Arceuthobium* que comprende 42 especies y *Phoradendron* con cerca de 250 especies. Por su parte, los insectos que mayor daño ocasionan son *Dendroctonus adjunctus*, *D. mexicanus*, *D. brevicornis*, *Phloeosinus* spp. y *Scolitus* spp., que a principios de la década de los noventa se detectaron en los municipios de Galeana y Santiago; dichas plagas fueron atacadas con insecticidas clorados y carbamatos mezclados con diesel, muy agresivos al ambiente, y posteriormente con los insecticidas a base de piretroides que son ecológicamente menos dañinos.

Informes: torres.luis@inifap.gob.mx

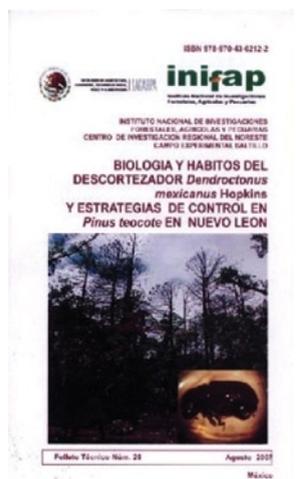
Torres E., L. M. y J. A. Sánchez S. 2006. Principales insectos descortezadores en los bosques de coníferas del estado de Coahuila. Folleto Técnico No. 21. CIRNE, INIFAP. Saltillo, Coah. México. 31 p. ISBN 968-800-707-2.



Se describen ocho especies de escarabajos descortezadores de Coahuila que se tienen detectados en la entidad de las once del género *Dendroctonus* en México, considerados la plaga forestal más dañina; en los últimos 20 años causaron la pérdida de 400 mil m³. Su presencia en el estado se explica por el estrés y debilitamiento de los árboles debido a la prolongada sequía, incendios, así como a la falta de manejo y el uso indiscriminado de pesticidas en cultivos de frutales aledaños al bosque que también afectaron a los enemigos naturales de dichos coleópteros.

Informes: torres.luis@inifap.gob.mx

Sánchez S., J. A. y L. M. Torres E. 2007. Biología y hábitos del descortezador *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y estrategias de control en *Pinus teocote* en Nuevo León. Folleto Técnico No. 29. CIRNE, INIFAP. Saltillo, Coah. México. 35 p. ISBN 978-970-43-0212-2.



Nuevo León es el estado con la mayor diversidad de especies de pino; *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrabus* son las más abundantes y sobre las cuales recae la producción maderable. La principal especie de descortezador primario que ataca a sus bosques es *Dendroctonus mexicanus*. El impacto que causa en la producción maderera es relevante pues obliga a la realización de cortas de saneamiento y al aprovechamiento de maderas muertas, además de que las zonas donde ataca este insecto son consideradas ecoturísticas, ya que las poblaciones urbanas las utilizan como centros de esparcimiento,

Informes: torres.luis@inifap.gob.mx



Módulo de exposición y venta de la Revista *Ciencia Forestal en México* en el Foro Forestal por el 30 Aniversario del Centro de Formación Forestal (CEFOFOR), que se llevó a cabo en Ciudad Guzmán, Jal., del 23 al 25 de abril de 2009.



Módulo de exposición y venta de la Revista Ciencia Forestal en México en el Foro Forestal por el 30 Aniversario del Centro de Formación Forestal (CEFOFOR), que se llevó a cabo en Ciudad Guzmán, Jal., del 23 a 25 de abril de 2009.



Módulo de exposición y venta de la Revista *Ciencia Forestal en México* en el Foro Forestal por el 30 Aniversario del Centro de Formación Forestal (CEFOFOR), que se llevó a cabo en Ciudad Guzmán, Jal., del 23 al 25 de abril de 2009.



Módulo de exposición y venta de la Revista *Ciencia Forestal en México* en el 8vo. Congreso Internacional, 14avo. Nacional de Ciencias Ambientales y 3er. Congreso del Ambiente que se llevó a cabo en Tlaxcala, Tlax., del 03 al 05 de junio de 2009.

FE DE ERRATAS

El No. 104, Vol. 33, julio-diciembre 2008 de la Revista *Ciencia Forestal en México*, en el artículo intitulado “Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala - Puebla”, cuyos autores son Fabiola Rojas-García y Lourdes Villers-Ruíz (pp. 59-86), lamentablemente se omitió el Cuadro 4 que debió haber aparecido en la página 79, después del segundo párrafo que refiere “... A partir de la estimación de biomasa por parcela de monitoreo permanente se pudo calcular la biomasa por tipo de comunidad vegetal del Parque. En el Cuadro 4...”.

Cuadro 4. Biomasa estimada para el estrato arbóreo de las comunidades vegetales presentes en el Parque Nacional Malinche.

Comunidad	Biomasa (ton ha ⁻¹)	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Superficie (ha)	Biomasa (ton)
<i>Pinus montezumae</i>	268.0	80.1	29.9	12,169.9	3,172,314
<i>Pinus-Abies</i>	266.8	185.2	69.4	372.0	99,257
<i>Abies religiosa</i>	265.6	185.2	69.7	1,365.5	362,633
<i>Abies-Pinus</i>	266.8	185.2	69.4	1,008.8	269,138
<i>Alnus jorullensis</i>	289.6	15.0	5.2	755.9	218,882
<i>Pinus hartwegii</i>	224.3	13.2	5.9	656.9	147,318
<i>Pinus leiophylla</i>	237.2	s.d.	s.d.	520.1	123,363
<i>Quercus</i>	4.9	s.d.	s.d.	384.9	1,878
<i>Pinus-Quercus</i>	136.4	186.1	136.4	3,706.3	505,538
Total				20606.6	4,900,505

s.d. = sin datos, por contar solamente con una muestra.

Se ofrece una disculpa a los autores y a los lectores por la inconveniencia que lo anterior pudo haber causado.

El pago de suscripciones se realizará por medio de un depósito a nombre del **INIFAP/CENID-COMEF**, en la cuenta **No. 0568286175, Clabe 072 180 00568286175 6**, 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:	\$	300.00		Institucional
	\$	150.00		Individual
Extranjero:	\$	90.00	USD	Institucional/Institutions
	\$	45.00	USD	Individual/Individuals

Toda correspondencia relacionada con la revista, favor de dirigirla a:

Director de la Revista
Ciencia Forestal en México
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

La Revista ***Ciencia Forestal en México***, Vol. 34, Núm. 105, se terminó de imprimir en el mes de junio de 2009, por medio de la empresa Graphx, S. A. de C. V., Tacuba No. 40-205, Col. Centro, Delegación Cuauhtémoc. C. P. 06010. México, D. F.

Elaboración de originales: Margarita Muñoz Morgado
 Formación, fotomecánica, impresión, encuadernación y terminado:
 Graphx, S. A. de C. V.

Tiraje: 1,000 ejemplares.

INSTRUCTIVO PARA AUTORES

La revista *Ciencia Forestal en México* acepta para su publicación artículos científicos, notas técnicas y ensayos. Dichas contribuciones deberán ser inéditas y someterse de acuerdo a las características indicadas en el Formato General (Capítulo IV) del documento Normas, Reglamento y Procedimientos Editoriales (*Ciencia Forestal en México* Vol. 24, Núm. 85, enero-junio 1999).

Artículo científico: será recomendable que no exceda de 20 cuartillas, incluyendo cuadros y figuras. Estará integrado por: resumen (200 a 250 palabras), palabras clave, *abstract*, *key words*, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y referencias.

Nota técnica: aportaciones breves basadas en investigación científica (máximo 10 cuartillas incluyendo cuadros y figuras) cuyos resultados, aunque sean parciales, aporten un avance metodológico o experimental en la ciencia forestal y ameriten ser publicados a juicio del Consejo Arbitral. Incluirá los apartados de un artículo, con excepción de las conclusiones, aunque se pueden incorporar recomendaciones.

Ensayo técnico: contribuciones con un enfoque científico y analítico, que aporten un avance a la dasonomía como ciencia. Se integrarán por los apartados de: resumen, palabras clave, *abstract*, *key words*, introducción, desarrollo y discusión del tema, conclusiones y referencias.

Recomendaciones:

1. Los trabajos estarán escritos en una versión reciente del procesador Word, a doble espacio y con tipo *arial* 12. Se enviará un original y tres copias en papel bond, acompañadas de la versión digital en CD. Cualquier observación adicional se indicará en forma anexa, así como la dirección postal, correo electrónico, número telefónico y de fax del autor responsable, con quien se establecerá comunicación en lo sucesivo.

2. Remitir su manuscrito mediante un comunicado oficial a la siguiente dirección:

Director de la Revista *Ciencia Forestal en México*
INIFAP
Av. Progreso No. 5
Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán
C.P. 04010 México, D. F.
México.

3. En el caso de que los árbitros o editores sugieran modificaciones, éstas se harán del conocimiento al autor responsable mediante un comunicado oficial.

4. Las normas, reglamento y procedimientos editoriales, pueden ser consultadas en la página electrónica: <http://www.inifap.gob.mx/publicaciones/cientifica/TFM/85.pdf>

En caso de requerir mayor información, favor de enviar un correo electrónico a: ciencia.forestal@inifap.gob.mx

CIENCIA FORESTAL

en México

VOL. 34

ENE-JUN 2009

NÚM. 105

CONTENIDO

Pág.

CONSEJO CONSULTIVO Y CONSEJO EDITORIAL	3
CONSEJO ARBITRAL	5
EDITORIAL	11
IDENTIFICACIÓN DEL AGENTE PATÓGENO DEL CANCRO DEL EUCALIPTO EN PLANTACIONES DEL SURESTE DE MÉXICO Irma Bernal Lugo, Carlos Juárez Palacios J., Rocío Santos Gally, Luis Vázquez Silva, Hilda Araceli Zavaleta Mancera, Hilda Susana Azpiroz Rivero, Conrado Parraguirre Lezama y María del Pilar de la Garza López de Lara	17
RECONSTRUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIONAL PARA EL BARLOVENTO DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL CON ANILLOS DE CRECIMIENTO DE <i>Pseudotsuga menziesi</i> José Villanueva Díaz, Peter Z. Fulé, Julián Cerano Paredes, Juan Estrada Ávalos e Ignacio Sánchez Cohen	37
RIQUEZA DE MACROMICETOS DEL PARQUE NACIONAL BARRANCA DEL CUPATITZIO, MICHOACÁN, MÉXICO Gilberto Chávez-León, Víctor Manuel Gómez-Reyes y Marlene Gómez-Peralta	71
EVALUACIÓN DE TERRAZAS DE BANCO PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES Oscar Raúl Mancilla Villa, José Luis Oropeza Mota y Mario Martínez Menes	97
FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO Y VOLUMEN COMPATIBLE PARA <i>Pinus arizonica</i> Engelm. EN EL SUROESTE DE CHIHUAHUA Marín Pompa García, José Javier Corral Rivas, Manuel Antonio Díaz Vásquez y Martín Martínez Salvador	117
ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LA COBERTURA VEGETAL-USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA José Mauricio Galeana Pizaña, Nirani Corona Romero y José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz	135
TABLAS DE PRODUCCIÓN PARA EL INVENTARIO DE CORTADILLO (<i>Nolina cespitifera</i> Trel.) EN EL SURESTE DE COAHUILA David Castillo Quiroz, J. Trinidad Sáenz Reyes, Luis Mario Torres Espinosa y David Sánchez Aspeytia	157
ESTUDIO CARIOLÓGICO DE <i>Quercus laurina</i> Humb. & Bonpl. Carlos Rafael Hernández-Vital, José Guadalupe Álvarez-Moctezuma, Fernando Zavala-Chávez y Policarpo Espinosa-Robles	173
MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO PARA <i>Pinus durangensis</i> Martínez EN SAN DIMAS, DURANGO Juan Antonio López Hernández y Arturo Gerardo Valles Gándara	185
EFFECTO DE <i>Tillandsia recurvata</i> (Bromeliaceae) SOBRE EL ÉXITO REPRODUCTIVO DE <i>Fouquieria splendens</i> (Fouquieriaceae) Iván Castellanos-Vargas, Zenón Cano-Santana y Berta Hernández-López	197
HOMENAJE A LA DRA. MARÍA VALDÉS RAMÍREZ	209
RESEÑA DE PUBLICACIONES FORESTALES ELABORADAS POR INVESTIGADORES DEL INIFAP	213
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO	219
FE DE ERRATAS	223