

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 33 NÚM. 104 220 p. MÉXICO, D.F. JUL-DIC 2008



aniversario
DE INVESTIGACION FORESTAL EN COYOACAN

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, julio-diciembre 2008. 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: CENID-COMEF/INIFAP, Av. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, C. P. 04010, 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
RECONSTRUCCIÓN DE PRECIPITACIÓN ESTACIONAL DE <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco EN SIERRA LA MADERA, CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA José Villanueva Díaz, Julián Cerano Paredes y Juan Estrada Ávalos	17
FACTORES QUE INCIDEN EN LA SINIESTRALIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES Dante Arturo Rodríguez Trejo, Hugo Ramírez Maldonado, Hubert Tchikoué y Javier Santillán Pérez	37
ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL DEL PARQUE NACIONAL MALINCHE: TLAXCALA - PUEBLA Fabiola Rojas-García y Lourdes Villers-Ruiz	59
EL FUTURO DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO COMO ORIENTACIÓN ESTRATÉGICA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Georgel Moctezuma López, José Antonio Espinosa García, Alfredo Cruz Tapia Naranjo y Mario Alberto Guerrero González	87
ANATOMÍA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES DE <i>Quercus</i> (FAGACEAE) DEL ESTADO DE MÉXICO Carmen-de la Paz Pérez-Olvera, Irma Reyes Jaramillo y Silvia Rebollar Domínguez	103
ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS COMUNIDADES VEGETALES DEL ORÉGANO (<i>Lippia berlandieri</i> Schawer) EN MAPIMÍ, DURANGO, MÉXICO Martín Martínez Salvador y Diódoro Granados Sánchez	125
LA SÍNTESIS DE ISOPRENOIDES EN PLANTAS A TRAVÉS DE LA VÍA DEL 2C-METIL-D-ERITRITOL-4-FOSFATO (MEP) Angeles Cancino-Rodezno	139

INDICADORES AMBIENTALES: LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Carlos Mallén Rivera	155
SEMBLANZA DEL DR. FERNANDO ZAVALA CHÁVEZ: HOMENAJE PÓSTUMO Emma Estrada Martínez	191
RESEÑA DE FOLLETOS TÉCNICOS DEL CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO, CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORESTE Georgel Moctezuma López	205
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA <i>CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO</i>	213

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 Aña 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
Dr. 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-Ayaz
Dr. Eduardo Tolosana
Dr. Santiago Vignote Peña

Estados Unidos de América

New Mexico State University
Dr. John G. Mexal

Northern Arizona University
Dr. Peter Z. Fulé

Texas A&M University
Dr. Raúl I. Cabrera

University of California
Dr. Richard Y. Evans

University of Colorado at Denver
Dr. Rafael Moreno Sánchez

United States Department of Agriculture
Forest Service
Dr. Mark E. Fenn
Dr. Carlos Rodríguez Franco

Francia

Institut de Recherche pour le Développement
Dr. Daniel Gauthier

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. Mario González Espinosa
Dr. Bernardus H. J. de Jong
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

Comisión Nacional Forestal
M.C. Alfonso de la Rosa Vázquez

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 Guizar Nolasco
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
Dr. Fernando Zavala Chávez†

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 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
Dr. Ángel Moreno Fuentes

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 López Feldmann

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

Dr. Humberto Bravo Álvarez
Dr. Joaquín Cifuentes Blanco
Dra. 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 Anzués
Dr. Gustavo Cruz Bello
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
M.C. José A. Benjamín Ordoñez Díaz
Dr. José Ángel Prieto Ruiz
M.C. Arturo G. Valles Gándara
M.C. Ignacio Vázquez Collazo
Dr. José Villanueva Díaz

Consultores Privados

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

EDITORIAL

El Comité Editorial que me honra presidir tiene el agrado de hacer llegar al sector forestal y ambiental del país y del extranjero, un nuevo número de la Revista *Ciencia Forestal en México*, en esta ocasión el 104 y en el cual se ha querido rememorar el 50 Aniversario del inicio de la investigación forestal en nuestras instalaciones de Av. Progreso No. 5, junto al Vivero de Coyoacán. Estas edificaciones fueron inauguradas en su momento por el entonces Presidente de la República, Lic. Adolfo Ruiz Cortines, quien mostró un amplio interés por apoyar dicha actividad mediante la construcción de una infraestructura adecuada para el desarrollo del trabajo experimental en este ámbito, así como para el resguardo de los acervos y colecciones relacionados con las múltiples áreas de la investigación forestal que sustentan el conocimiento, conservación y manejo sostenible de los recursos forestales de México.

En este número incluimos una nueva sección, la cual pretende ampliar la difusión de los trabajos que han sido publicados por los investigadores forestales de los varios Centros Regionales del Instituto. En esta primera ocasión se presentan las reseñas de tres publicaciones generadas en el Campo Experimental Saltillo, que se relacionan con la Calidad de Planta en Vivero y Prácticas que Influyen en su Producción, Manejo del Descortezador *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins en los Bosques de Coahuila y Análisis Dimensional y Tablas de Producción de Sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) para el Estado de Coahuila.

Estamos seguros en el Comité que esta nueva sección coadyuvará a promover en una forma más amplia los trabajos de nuestros colegas e invitamos asimismo a los investigadores y académicos de otras instituciones, a que nos hagan llegar las nuevas publicaciones que generen, con el fin de realizar la reseña y escanear la portada. El ejemplar que nos envíen será depositado en la Biblioteca Nacional Forestal "Ing. Roberto Villaseñor Ángeles", para su consulta.

En el presente número nuevamente tenemos la lamentable situación de publicar la semblanza de un connotado investigador y académico del sector, en este caso del Dr. Fernando Zavala Chávez, quien laborara en el Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo y fuera miembro del Consejo Arbitral de esta revista. El Dr. Zavala Chávez fue un reconocido estudioso de la botánica forestal, tema en el cual incursionó recién salió de la Escuela de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en Morelia, Mich. Lamentamos la pérdida de este colega y amigo de muchos de nosotros y deseamos a su familia y compañeros de trabajo pronta resignación por su sensible fallecimiento.

El número 104 está conformado por ocho contribuciones provenientes del INIFAP, Universidad Autónoma Chapingo, Facultad de Ciencias de la UNAM, Instituto de Biotecnología de la UNAM y UAM Iztapalapa; es decir, es un número multiinstitucional, lo cual honra a este Comité, pues refleja la confianza de investigadores y académicos ajenos al INIFAP.

La dendrocronología es el tema del primer artículo, una disciplina que ha adquirido mayor relevancia con el cambio climático, pues los árboles proveen de información sensible y precisa y por ende, más confiable para entender los cambios que se han registrado en el clima regional. El trabajo de referencia se realizó en Sierra La Madera, Cuatrociénegas, Coah. y su objetivo fue el de determinar la variabilidad hidroclimática histórica y el impacto de patrones atmosféricos circulatorios en esta región. Se generaron dos cronologías climáticamente sensibles de *Pseudotsuga menziesii* y la reconstrucción se extendió de 1719 a 2003, en la cual se registró la presencia de sequías extremas en periodos recurrentes aproximados de 50 años. Lamentablemente la desecación del periodo reciente (1990-2003) todavía persiste para Cuatrociénegas, a diferencia de la extracción de agua que se ha incrementado de forma sustancial en este sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad acuática y

subacuática. Es de esperar que este trabajo coadyuve a que los funcionarios y ciudadanos que tienen que tomar decisiones cuenten con mayor información para preservar esta importante región ecológica del noreste mexicano.

La siguiente aportación se relaciona con los factores que inciden en la siniestralidad de los incendios forestales y para lo cual los autores tomaron en cuenta de que a pesar de que algunos indicadores meteorológicos, tales como la temperatura y la humedad relativa, correlacionan bien con la incidencia de incendios forestales, la influencia de otros factores, entre ellos los sociales complican esta aparente sencilla relación. Este trabajo pretendió detectar las variables sociales, meteorológicas, productivas, económicas y de uso del suelo, que se correlacionan con aquellas que son indicativas de la siniestralidad de incendios. Esta investigación desarrollada en la Universidad Autónoma Chapingo aporta un conocimiento más preciso sobre las variables que presentan una mayor correlación con la superficie afectada por incendios, así como su número y otros indicadores de siniestralidad. Es de esperar que los encargados operativos y normativos de controlar y prevenir este factor de gran efecto en las áreas forestales, tomen en cuenta los hallazgos de este proyecto y consideren la información en sus procesos de trabajo.

El siguiente artículo aborda la ecología forestal, tema básico para el conocimiento de nuestros recursos. La biomasa forestal es el componente primario del ecosistema y los autores, estimaron la biomasa de los árboles en pie de cada parcela establecida y aplicaron ecuaciones volumétricas convencionales para calcular el valor específico de la densidad de la madera para las cinco especies más importantes en el Parque Nacional Malinche, el cual tiene una superficie de 20,607 ha. La cantidad de carbono fijada puede verse alterada en pocos años si se continúa con el deterioro de los bosques de este volcán, por lo que es necesario ofrecer alternativas a las comunidades locales, para que desarrollen acciones congruentes con la categoría actual del ANP y favorecer así la conservación de sus recursos naturales.

La siguiente contribución versa sobre un trabajo de planeación para la investigación forestal y agropecuaria, la cual se desarrolló dentro del marco de un proyecto latinoamericano denominado *Quo Vadis*, el cual tenía la premisa de que en los años recientes, la presión de la sociedad a favor de un ambiente saludable ha creado nuevos desafíos para las actividades productivas en el campo y consecuentemente para la investigación. Bajo estas nuevas condiciones se hace necesario encontrar una agricultura competitiva, capaz de aportar productos de buena calidad y a precios accesibles para los consumidores, sin dañar a los ecosistemas. Los autores analizaron la importancia, el dominio actual y la necesidad de conocimientos para el desarrollo de la sostenibilidad ambiental como objetivo de la innovación institucional de los organismos dedicados a la investigación forestal, agrícola y pecuaria. Con el fin de recabar la información se consultaron 58 expertos pertenecientes a 22 instituciones educativas, de investigación, normativas y financiadoras. Los autores de este trabajo refieren que los expertos consultados consensaron que se requiere atender en el futuro la "Explotación económica sostenible de la biodiversidad" y el "Conocimiento tradicional sobre la biodiversidad". Este tipo de trabajos coadyuvará a definir las áreas de investigación que deben ser atendidos en el futuro, tomando en cuenta que esas temáticas han sido difundidas por expertos de diversas áreas, pero relacionadas con la temática forestal y agropecuaria.

Nuevamente se presenta en *Ciencia Forestal en México* un trabajo sobre el conocimiento de nuestros recursos madereros, base fundamental para su adecuada utilización. En este caso se estudiaron las características anatómicas de la madera de dos especies de *Quercus* (encinos) del estado de México, importantes por su abundancia e incluso una de ellas es endémica de la región. La madera de las dos especies reveló características macroscópicas y microscópicas semejantes, aunque, al ser de diferentes subgéneros también presentaron diferencias notables en el color, la porosidad y el arreglo y tamaño de

los poros principalmente. Este estudio fundamenta el posible uso de la madera de estas especies y es de esperar que un manejo sostenible fundamente su aprovechamiento en el futuro.

Los recursos no maderables son de gran importancia para el sector, pues son fuente de ingresos para los dueños o poseedores de las áreas forestales e incluso captación de divisas, como es el caso el orégano, el cual fue estudiado en la Nota Técnica que se presenta en el actual número. Los autores realizaron un estudio de ecología de comunidades en donde se desarrolla, en ello se fundamentan las prácticas de manejo y aprovechamiento sostenible de este recurso, el cual es comercializado a nivel nacional y del extranjero. Los investigadores realizaron un muestreo de vegetación a través de un gradiente orográfico en Mapimí, Dgo. y determinaron las características ecológicas de las comunidades vegetales del área donde crece la especie. Sus resultados muestran que la distribución de la especie obedece a un gradiente orográfico (cima – valle) y en las partes altas convive con matorral rosetófilo subinerme y en los bajos de sierras y lomeríos el orégano se establece en una asociación de matorral rosetófilo, matorral micrófilo subinerme y matorral crácicaule. Indudablemente esta información será útil para la toma de decisiones en el manejo y aprovechamiento del recurso en la región de estudio y se espera que este trabajo sea de utilidad para los prestadores de servicios técnicos y personal que trabaja en su regulación.

El presente número lo cierran dos ensayos, el primero de ellos se refiere a la síntesis de isoprenoides en plantas, los cuales son un grupo extenso de moléculas orgánicas que tienen una enorme diversidad estructural y funcional y, como son metabolitos primarios, están implicados en la respiración, fotosíntesis y otros procesos del metabolismo vegetal. Asimismo, los isoprenoides pueden ser metabolitos secundarios que tienen funciones específicas de tipo químico o ecológico para la planta e incluso como derivados que poseen un valor comercial. Durante mucho tiempo se consideró a la ruta del Ácido Mevalónico

como la vía universal para la síntesis de precursores isoprenicos; sin embargo, recientemente se descubrió la ruta alterna del 2C-metil-D-eritritol-4-fosfato (MEP) y se determinó que las plantas poseen ambas vías metabólicas, logrando así sintetizar cerca del 80% de los isoprenoides conocidos hasta el momento. La elucidación de la vía MEP significa un hallazgo notable para el entendimiento de la manipulación de la biosíntesis de isoprenoides en las plantas, sin embargo resta por entender más sobre los mecanismos de control del flujo de sus intermediarios y sus posibles conexiones con otras rutas. En este sentido, la ingeniería genética representa una poderosa herramienta para la producción biotecnológica de éstos. Los conocimientos aportados por este trabajo serán de gran utilidad para los académicos e investigadores que trabajan en el área de la biotecnología y es de esperar que se fundamente por esta vía, el incremento y mejora de productos forestales relacionados con los isoprenoides.

El segundo ensayo versa sobre los indicadores ambientales como una herramienta para la evaluación de los recursos naturales, con el fin de clarificar los objetivos del manejo sostenible por medio de la opinión de los involucrados. Los indicadores ambientales facilitan la definición del concepto de sustentabilidad y determinan el intervalo de valores a considerar, así como los procedimientos para evaluar el manejo. Este trabajo fundamentará las normas nacionales de monitoreo de la sustentabilidad, relacionadas con el conocimiento de la dinámica humana que se ejerce sobre el entorno ambiental, lo cual será de gran ayuda para los funcionarios responsables de la administración y regulación de los recursos naturales.

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 la misma para hacer llegar sus resultados a la comunidad forestal de México y de otros países con una problemática similar.

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

RECONSTRUCCIÓN DE PRECIPITACIÓN ESTACIONAL DE *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco EN SIERRA LA MADERA, CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA

José Villanueva Díaz¹, Julián Cerano Paredes¹
y Juan Estrada Ávalos¹

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la variabilidad hidroclimática histórica y el impacto de patrones circulatorios en la región de Cuatrociénegas, Coahuila, la cual está sujeta a extrema presión social por el uso del agua, se generaron dos cronologías climáticamente sensibles de *Pseudotsuga menziesii* en Sierra La Madera. La cronología de madera temprana respondió a la precipitación estacional acumulada del periodo enero-junio. La reconstrucción que se extiende de 1719 a 2003 indica la presencia de sequías extremas en periodos recurrentes aproximados de 50 años; es decir 1740-50, 1790, 1860, 1890-1900, 1950 y 1990. La desecación del periodo reciente (1990-2003) todavía persiste para Cuatrociénegas, a diferencia de la extracción de agua que se ha incrementado de forma sustancial y en este sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad acuática y subacuática. El efecto de patrones de circulación atmosférica global como es el caso de El Niño Oscilación del Sur, en la precipitación de esta región, ha sido variable en el tiempo. La influencia de fenómenos atmosféricos que afectan grandes regiones del noreste de México impactan de igual manera esta región, ya que sequías reconstruidas para Saltillo, sureste del estado de Coahuila y parte sur de Nuevo León, también afectaron la planicie de Cuatrociénegas. El desarrollo de una red dendrocronológica regional permitirá expandir en el tiempo la información hidroclimática de esta zona, fundamental para el manejo sustentable de sus recursos hídricos.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, cronologías, Cuatrociénegas, El Niño, paleoclima, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

Fecha de recepción: 21 de diciembre de 2007.

Fecha de aceptación: 17 de octubre de 2008.

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

ABSTRACT

The objective of this study was to determine historic hydroclimate variability using tree rings as proxy data and to analyze the impact of atmospheric circulatory patterns on water availability. Two climate-sensitive Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) chronologies were developed in Sierra La Madera, Cuatrociénegas, Coahuila. The earlywood chronology significantly responded to the seasonal January-June precipitation, therefore a precipitation reconstruction was developed for the total length of the chronology (1719-2003). The reconstruction shows the presence of extreme droughts in the periods 1740-50s, 1790s, 1860s, 1890-1900s, 1920s, 1950s, and 1990-2000s, at frequencies of around 50 years. At difference of other reconstructions, the most recent drought (1900-2000) still continues in this region, but water use has increased threatening the Cuatrociénega marshes which is a priority site for conservation due to its aquatic and subaquatic biodiversity. The impact of atmospheric circulatory patterns such as ENSO on the amount of recorded precipitation has changed through time for this region. The impact of atmospheric circulatory patterns affecting northeastern Mexico explains much of the climatic conditions on the Cuatrociénega area as deduced by the presence of common droughts all over the region. Increasing the network of regional tree-ring chronologies may help to improve the understanding of climate for water management purposes.

Keywords: Tree rings, chronology, Cuatrociénegas, El Niño, Paleoclimate, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

INTRODUCCIÓN

El valle de Cuatrociénegas en el estado de Coahuila constituye el humedal más importante del desierto Chihuahuense. Desde el punto de vista científico, el área es conocida internacionalmente por constituir un ecosistema único en su género, debido a los endemismos de fauna acuática y subacuática, los cuales evolucionaron desde tiempos prehistóricos a consecuencia de su aislamiento hidrológico (INE, 1999).

En 1994, el gobierno mexicano a través del Departamento de Áreas Naturales Protegidas del Instituto Nacional de Ecología, decretó este lugar como "Área Natural Protegida" en la categoría de "Protección de Flora y Fauna". Su extensión es de 84,347.5 ha y está englobada por una cuenca endorreica que tiene manantiales, arroyos permanentes y áreas inundadas. Forma parte de la región hidrológica Bravo-Conchos, zona geohidrológica Cuatrociénegas-San Miguel, e incluye dos fuentes de agua subterránea, con una tasa de extracción anual ($49 \times 10^6 \text{ m}^3$) que supera a la recarga ($25 \times 10^6 \text{ m}^3$), lo que genera un déficit de $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ (CONAGUA, 2006).

Aunque la planicie es la parte más conocida del Valle de Cuatrociénegas, está rodeado por montañas que conforman verdaderas "islas del cielo" o "*sky islands*" con alta biodiversidad y que a lo largo de un gradiente altitudinal, dan paso a una serie de ecosistemas diversos desde pastizales y matorrales desérticos, en la planicie hasta encinares y bosque mixto de coníferas en su máxima elevación (Villarreal-Quintanilla y Encina-Domínguez, 2005).

Destacan entre esta vegetación montana, los manantiales perennes en la parte baja del valle, fenómeno que no ha sido del todo elucidado; sin embargo, es innegable la influencia que ejercen estos bosques mixtos en el ciclo hidrológico y en la recarga de los acuíferos, así como en la biodiversidad misma de la región, por lo cual esta zona ha ganado reconocimiento mundial (Pinkava, 1979).

Una de las especies forestales en estos ecosistemas montanos es *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco ("Douglas-fir"), que es una de las coníferas más longevas en México, con madera de excelente calidad comercial y de alta sensibilidad a cambios climáticos, ya que registra en sus anillos de crecimiento anual, tanto de madera temprana como tardía, la influencia de la precipitación invernal y de aquella que se registra en la época cálida del año (Stahle *et al.*, 2000).

El conocimiento histórico de la variabilidad hidroclimática que se puede derivar de los anillos de árboles es una herramienta fundamental con uso potencial para propósitos de planeación del manejo del recurso hídrico, y además, indica la periodicidad de eventos secos y húmedos que han tenido lugar en la región durante siglos; esto es importante para determinar la influencia de fenómenos de circulación atmosférica global que históricamente han impactado el clima de la región (Villanueva *et al.*, 2007).

En la actualidad no existe información paleoclimática sobre el área de Cuatrociénegas y los datos instrumentales disponibles no se extienden más allá de los últimos 50 años. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron: 1) Generar series cronológicas de anillos de crecimiento anual de *Pseudotsuga menziesii* presente en elevaciones superiores de Sierra La Madera para desarrollar una reconstrucción de precipitación en la planicie de Cuatrociénegas, Coahuila; 2) Determinar su variabilidad histórica en el tiempo y 3) Analizar la influencia climática que ejercen en la región patrones de circulación atmosférica que impactan otras partes del noreste Mexicano y que pueden explicar el comportamiento histórico hidroclimático de la región con fines de planeación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de interés

Los sitios de estudio, aledaños uno al otro, se localizan en Sierra La Madera,

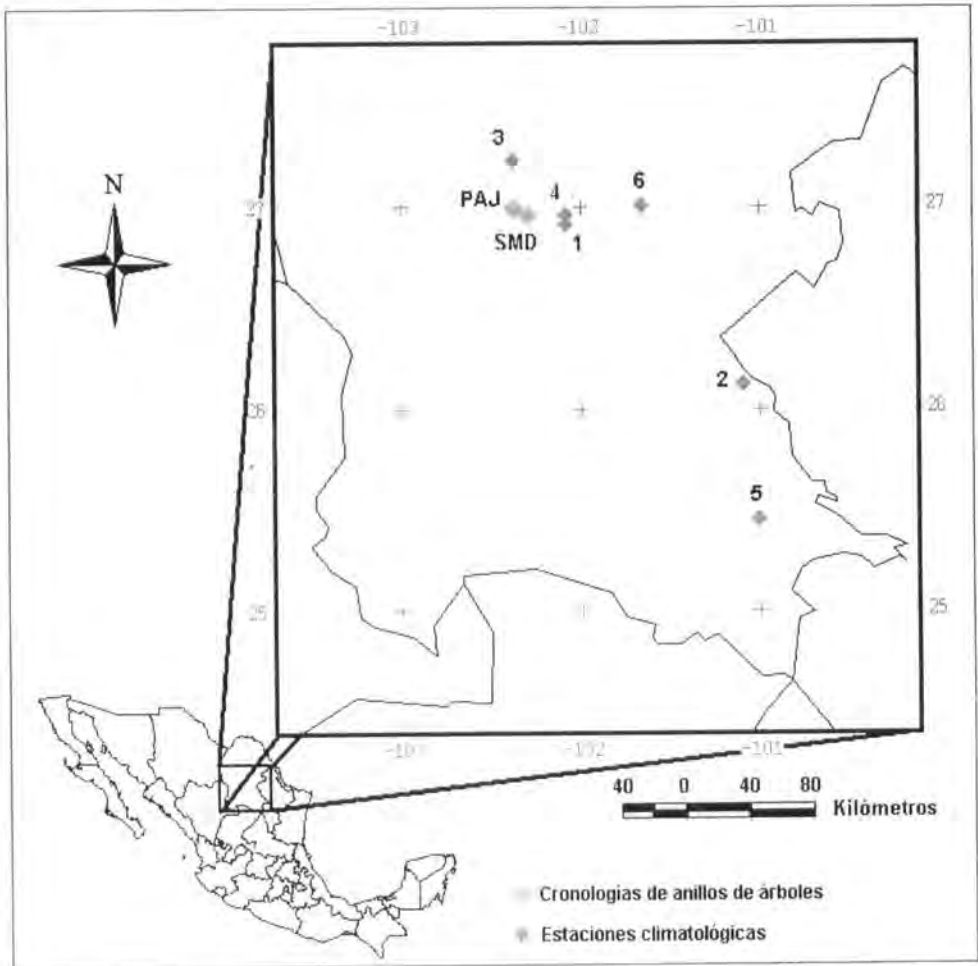
Cuatrociénegas; el primer paraje denominado "Cañón del Oso" (SMD), se ubica en las coordenadas 27° 01' 27" N, 102° 17' 27" W; 2,420 m de elevación; mientras que el segundo, "El Pajarito" (PAJ), en las coordenadas 27° 02' 08" N, 102° 22' 29" W, con una elevación de 2,380 m (Figura 1). En general, la sierra está integrada por un macizo de rocas calizas en dirección noroeste-sureste. Aunada a otras con la misma orientación se erigen en verdaderas barreras físicas que inhiben el paso de las corrientes húmedas procedentes tanto del Golfo de México como del Océano Pacífico, de tal forma, que la precipitación en la parte baja (donde se ubica el humedal), en general, no alcanza los 200 mm anuales, con una temperatura que desciende por debajo de los 0°C en el invierno y sobrepasa los 44°C en el verano.

El bosque mixto de coníferas o bosque montano se desarrolla en la parte más elevada de la Sierra La Madera, donde se establecieron los sitios de muestreo, en alturas que superan los 2,380 m. En estos sitios y en micrositios húmedos de las exposiciones norte de cañones y bajadas, la vegetación está compuesta por individuos dispersos de *Pseudotsuga menziesii*, *Abies durangensis* var. *coahuilensis* (I. M. Johnst.) y *Pinus ayacahuite* Ehrenberg & Schtdl., con un estrato codominante de *Quercus gravesii* Sudworth, *Arbutus texana* Buckl., *Acer grandidentum* Nutt. y *Cornus* L. (Pinkava, 1979).

En sitios más secos y con mayor insolación, en las exposiciones sur y sureste, se distribuyen *Pinus arizonica* Engelm., *Pinus remota* (Little) D.K. Bailey & Hawksworth y *Cupressus arizonica* Greene, asociados con otras especies de encinos y de arbustos y cactáceas con mayor tolerancia a condiciones de aridez (Pinkava, 1979). En el pasado reciente, algunos rodales de coníferas de Sierra La Madera estuvieron sujetos al aprovechamiento forestal intensivo. Asimismo, los incendios son comunes en muchas de estas áreas, lo que se evidencia por la existencia de arbolado muerto en pie con fuste carbonizado y cicatrices de incendios en algunos especímenes de pinos, lo cual también es indicativo de que incendios de baja intensidad ocurrieron de forma natural (iniciados por descargas eléctricas), lo que a través de los años mantuvo la estabilidad de estos ecosistemas; aunque en la actualidad, diversas acciones de cambio en la cobertura vegetal han alterado este régimen con efectos negativos en la biodiversidad (Fulé *et al.*, 2005).

Derivado de la influencia de incendios recientes, también se observa vegetación sucesional, representada por manzanita (*Arctostaphylos pungens* Kunth.), encinos arbustivos (*Quercus* spp.), cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) y algunas especies de magueyes (*Agave* spp.), cactáceas (*Opuntia* spp.) y sotol (*Dasylirois* spp.), entre las principales.

Debido a la inaccesibilidad a los sitios de muestreo, la vegetación manifiesta disturbio mínimo (donde sólo ha existido extracción ocasional de madera para postes, vigas y para producir utensilios domésticos), lo cual es deseable para este tipo de



Las estaciones meteorológicas aledañas a los sitios de muestreo aparecen enumeradas y se utilizaron para analizar la respuesta climática de las cronologías generadas.

Figura 1. Ubicación geográfica de los parajes de muestreo (SMD, PAJ) de *Pseudotsuga menziesii* en Sierra La Madera, Cuatrociénegas.

estudios, que tratan de maximizar la señal climática presente en los crecimientos anuales de las especies seleccionadas y discriminar la influencia antropogénica.

En el periodo de 2003 a 2004 se trabajó en dos parajes de bosque mixto en Sierra La Madera, Cuatrociénegas, Coahuila. Por la sensibilidad climática de *Pseudotsuga menziesii*, se escogieron ejemplares procedentes de micrositios de pobre calidad,

donde el crecimiento del arbolado depende exclusivamente de las condiciones de humedad disponibles. De cada árbol se extrajeron dos virutas, una a la altura del pecho y otra de forma perpendicular a la pendiente, con taladro Pressler de 5 mm de diámetro interno y extensión variable (45 a 50 cm); así mismo, con motosierra se cortaron secciones transversales de tocones, árboles muertos o madera subfósil (madera sobre la superficie del suelo o semienterrada). Los núcleos de crecimiento, se identificaron, montaron y pegaron en trozos acanalados de madera para facilitar su manejo; después se pulieron con lija de diversos grados (grano grueso a fino, grados progresivos de 120 a 1200); el mismo procedimiento fue utilizado con las secciones trasversales para destacar la edad.

En el laboratorio de Dendrocronología del INIFAP y con el apoyo de un estereomicroscopio trinocular de alta resolución modelo SZ2-ILSI, resolución 100-120, marca Olympus Corporation, los anillos se contaron y fecharon al año exacto de su formación mediante el uso de técnicas dendrocronológicas convencionales (Stokes y Smiley, 1968). La técnica del fechado cruzado o cofechado utilizada para este fin 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 anillo de crecimiento se le asignó una fecha al año de su formación (Douglas, 1946).

Una vez fechadas las muestras, cada anillo anual se seccionó en bandas de madera temprana (EW, siglas en Inglés), tardía (LW, siglas en Inglés) y anillo total (RW, siglas en Inglés) y posteriormente estas bandas se midieron individualmente con un sistema de medición modelo TA UniSlide, marca VELMEX Inc. (equipo compuesto por una platina deslizante y un codificador lineal con una precisión de medición de 0.001 milímetros), sistema integrado a un procesador PC y un estereomicroscopio con una retícula montada en el ocular para ubicar los límites de cada anillo de crecimiento.

El cofechado, calidad de la respuesta climática y exactitud de la medición de cada anillo se verificó con el programa COFECHA, que correlaciona periodos de 50 años con traslape entre periodos de 25 años (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001).

Las tendencias biológicas (competencia, liberación) y geométricas (área de fuste se incrementa con la edad y el crecimiento anual tiende a disminuir al distribuirse en una mayor superficie) no relacionadas con 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 *Pseudotsuga menziesii*, se recopilaron de la base climática ERIC II (Instituto

Mexicano de Tecnología del Agua, 2000) aquellas estaciones más cercanas a los sitios de colecta (Figura 1).

La respuesta climática entre precipitación y el crecimiento anual se investigó con la subrutina "Análisis de Función de Respuesta" (RESPO, por sus siglas en inglés) incluida en el paquete de Programas Dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés). Posteriormente con la mitad de datos climáticos disponibles se realizó una calibración entre la cronología y los registros estacionales de precipitación y con la otra mitad, se realizó una verificación (Fritts, 1991). Finalmente se obtuvo una ecuación de transferencia para el período total de datos de precipitación disponibles, la cual fue utilizada para desarrollar la reconstrucción de precipitación en la longitud total de la cronología. A la serie de alta frecuencia (resolución anual) se le ajustó una curva decenal flexible (baja frecuencia) para resaltar eventos secos o húmedos (Cook y Peters, 1981).

La reconstrucción de precipitación generada se comparó (correlacionó) con otras reconstrucciones para el noreste de México. Los períodos de sequía presentes en la reconstrucción también se compararon con curvas flexibles que evidencian la ocurrencia de eventos de baja frecuencia registrados en otras reconstrucciones de precipitación realizadas para sitios ubicados en las Sierras Madre Oriental y Occidental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generaron cronologías de anillo total, madera temprana y tardía para los parajes Cañón del Oso y Pajarito en Sierra La Madera, Cuatrociénegas, Coahuila. Las cronologías tienen una extensión de 285 años (1719-2003) para el paraje SMD y 224 años (1780-2003) para el paraje PAJ (Figura 2).

Al comparar las cronologías EW para ambos sitios (período común 1780-2003) se obtuvo una correlación de 0.73 ($p < 0.0001$), lo que indica que las dos series poseen una respuesta climática similar, atribuible a que ambos sitios se localizan muy cerca uno de otro y se ubican en una misma cuenca hidrológica, por lo que son afectados por sistemas atmosféricos comunes. Por lo anterior, se procedió a integrar los dos sitios muestreados para generar una cronología más representativa de la región estudiada en el espectro climática.

Con respecto a las cronologías de madera temprana, tardía y total y su relación con datos climáticos regionales, la primera mostró una mayor correlación con la precipitación acumulada estacional en contraposición con la precipitación estacional acumulada de estaciones climáticas individuales. La mejor respuesta para la mensual se obtuvo para enero, marzo, mayo y julio; sin embargo, a nivel estacional la mayor correlación se determinó para el período de precipitación acumulada de enero a junio ($p < 0.05$) (Figura 3). Lo anterior implica que el

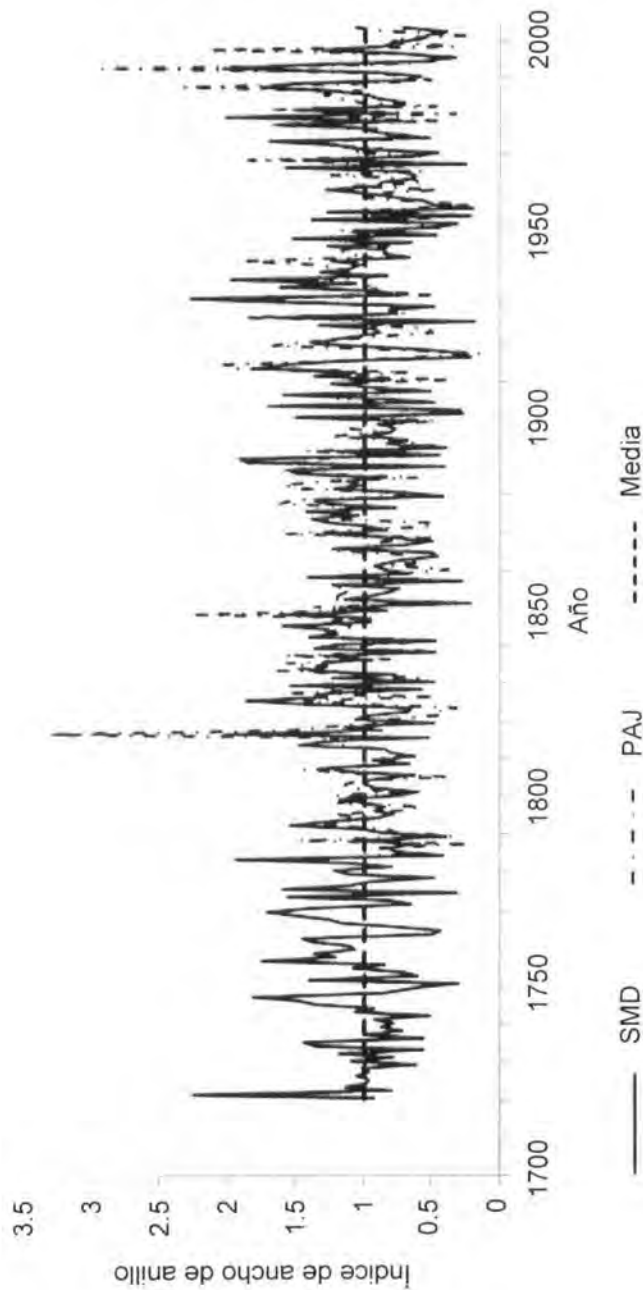


Figura 2. Cronologías de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* para dos sitios de colecta, Cañón del Oso (SMD) y Pajarito (PAJ) en Sierra La Madera, Coahuila.

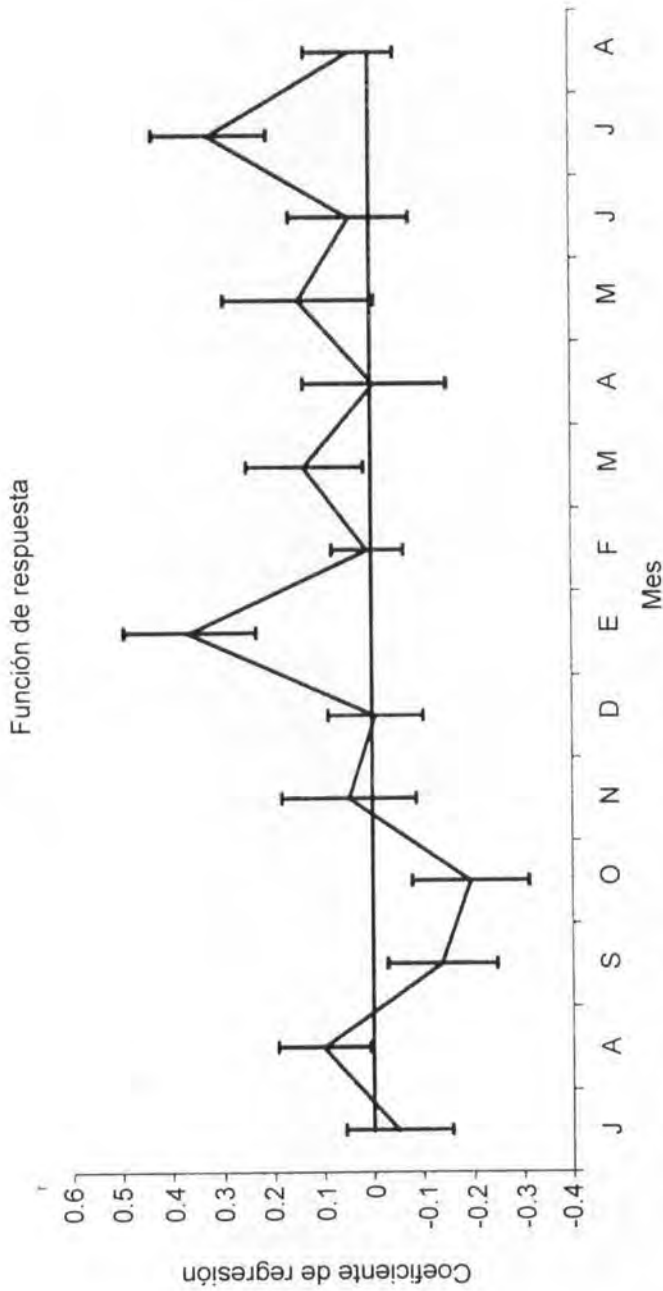


Figura 3. Función de respuesta climática entre la cronología promedio de madera temprana e información climática regional.

crecimiento de madera temprana de los árboles de *Pseudotsuga menziesii* en Sierra La Madera está influenciado por aquella precipitación que ocurre en la estación invierno-primavera.

La humedad que se almacena en el perfil del suelo en la época fría del año que resulta de lluvias de baja intensidad y mínima evaporación, en general, no sobrepasa la capacidad básica de infiltración, por lo que se favorece su acumulación en los primeros horizontes del suelo, lo que, a su vez, es de gran relevancia para satisfacer la demanda hídrica de esta conífera al inicio de la estación de crecimiento. Una respuesta similar se ha reportado para poblaciones de *Pseudotsuga* de la Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre Oriental, donde más del 70% del crecimiento anual es explicado por la precipitación invierno-primavera (Stahle *et al.*, 2000; Villanueva *et al.*, 2000; Therrell *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2007).

Para propósitos de reconstrucción, los datos instrumentales de precipitación del intervalo 1945-1998 se dividieron en dos subperíodos, uno para calibración (1973-1998) y el otro para verificación (1945-1971). La regresión entre el ancho de madera temprana y la precipitación estacional (enero-junio), calibró el 61.0 y 59.0% de la varianza climática para los dos subperíodos, 1973-1998 y 1945-1971 respectivamente, y 61.5% para el lapso total (1945-1998) (Cuadro 1, Figura 4).

Cuadro 1. Análisis estadístico de calibración para la reconstrucción de la precipitación estacional (enero-junio) de Cuatrociénegas, Coahuila con la cronología regional de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii*.

Período	R ² ajustada	Coeficiente (mm)		Error estándar (mm)		t-Estadístico	
		B ₀	B ₁	B ₀	B ₁	B ₀	B ₁
1945-1998	0.61	36.5	68.2	8.4	7.8	4.3***	8.8***
1945-1971	0.58	44.0	59.0	9.5	10.2	4.7***	5.8***
1973-1998	0.59	32.6	72.1	14.7	12.1	2.2*	5.9***

NS: No significativa ($p > 0.05$); *Significativo $p < 0.05$; ***Significativo $p < 0.001$.

El coeficiente de determinación (R^2) para el periodo total de datos disponibles (1945-1998) fue de 0.61, lo que implica que la cronología de anillos de árboles explica más del 60% de la precipitación estacional que se presenta en el Valle de Cuatrociénegas.

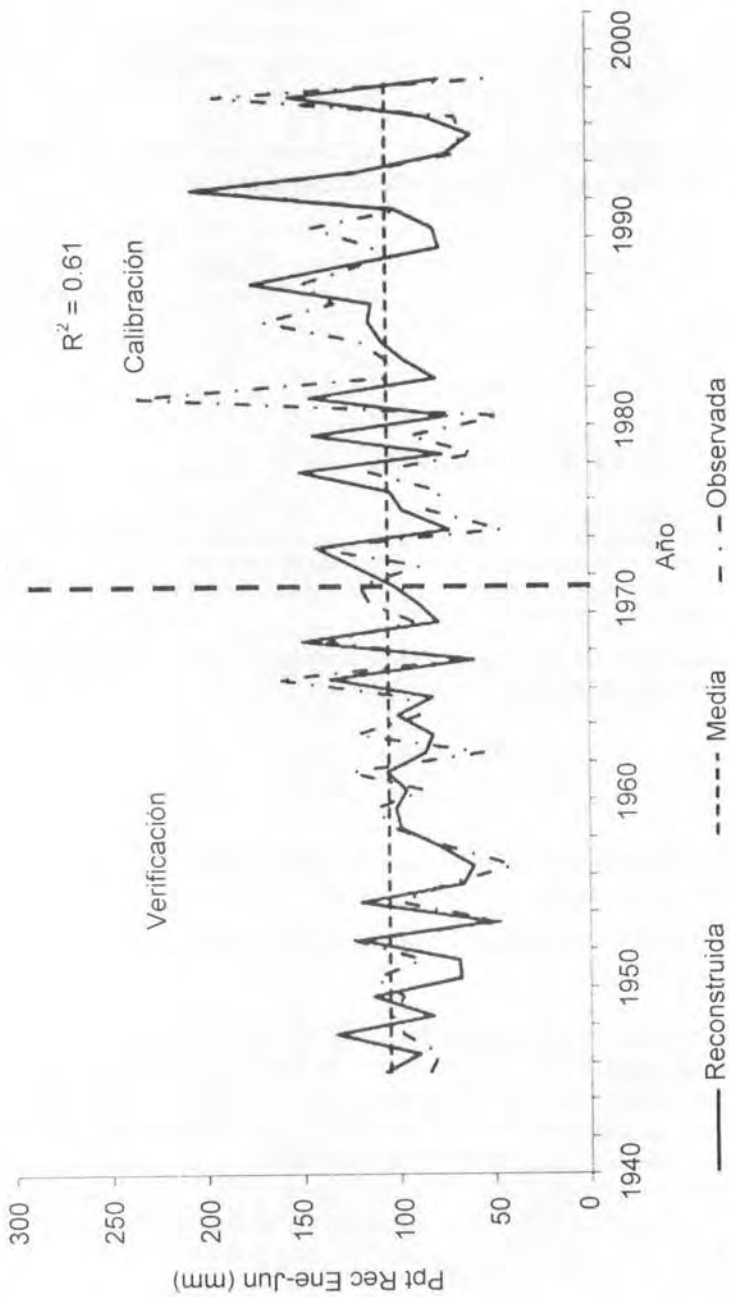


Figura 4. Comparación entre la precipitación reconstruida para el período enero-junio (línea sólida) y observada (línea punteada).

Los modelos de reconstrucción fueron significativos ($p < 0.05$) para todas de las pruebas estadísticas utilizadas, cuando se compararon con datos climáticos independientes, lo cual indica que los modelos desarrollados son estadísticamente confiables para propósitos de reconstrucción (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticos de verificación de la reconstrucción de precipitación estacional (enero-junio) en Cuatrociénegas, Coahuila.

Periodo	Correlación ($p = 0.975$)	Reducción de error ^a	Prueba de t^b	Prueba de signos ^c	Primera diferencia de la correlación ^d
1973-1998	0.78*	0.27*	2.99*	3*	3*
1945-1971	0.77*	0.63*	3.8*	7*	3*

El procedimiento de verificación utiliza los datos de precipitación estimados derivados del periodo de calibración.

^a Un resultado positivo indica que la reconstrucción contribuye únicamente con información climática;

^b Comparación de las medias de los datos observados y reconstruidos; ^c Las medias se substraen de cada serie y los residuos se multiplican; ^d Primera diferencia de los datos observados y reconstruidos ($t - t_1$). La transformación remueve tendencias que pueden afectar el coeficiente de correlación.

NS: No significativa ($p > 0.05$); *Significativo, $p < 0.05$.

El modelo bivariado de regresión lineal utilizado en la reconstrucción de los datos de precipitación estacional fue el siguiente:

$$\bar{Y}_t = 32.6 + 72.1X_t$$

Donde:

$\bar{Y}_t$ = representa el valor estimado total de la precipitación estacional (mm) del periodo enero-junio y

X_t = representa los índices anuales de la cronología residual de madera temprana.

La precipitación estacional reconstruida (enero-junio) para el periodo 1719-2003, indica alta variabilidad climática a lo largo de 285 años de la serie de tiempo (Figura 5). El promedio de precipitación para esta reconstrucción fue de 105.0 mm con una desviación estándar de 28.1 mm. La línea suavizada flexible a nivel decenal (línea gruesa en negritas) indica periodos en los que la precipitación fue inferior al promedio, como son las décadas de 1740, 1790, 1860, 1900, 1950 y 1990. La línea vertical quebrada en color gris representa la precipitación reconstruida estacional y la línea horizontal discontinua es la media reconstruida.

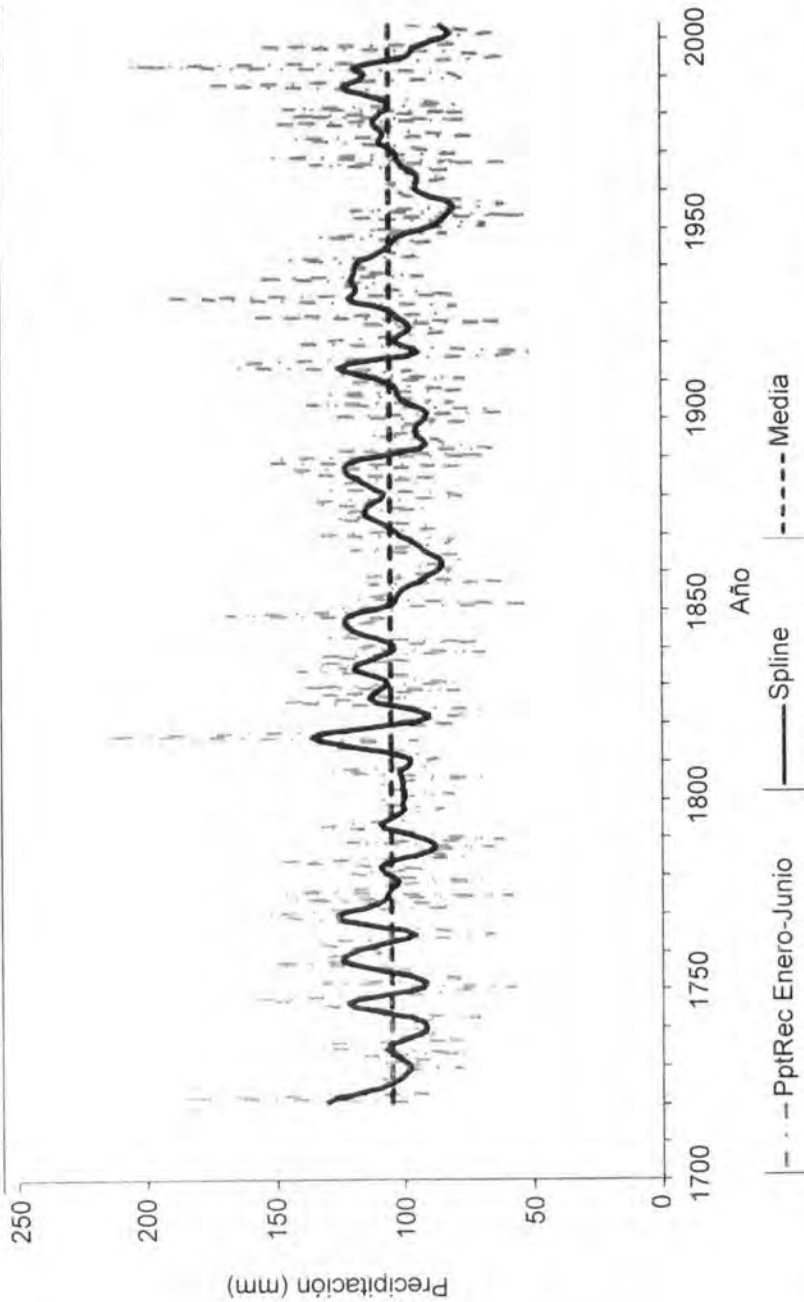


Figura 5. Precipitación estacional reconstruida invierno-primavera (enero-junio) para el periodo 1719-2003 en Cuatrociénegas, Coahuila.

Un aspecto relevante de esta reconstrucción es que los crecimientos de los árboles de *Pseudotsuga* en elevaciones que sobrepasan los 2,300 m son un "proxy" de la precipitación observada en la planicie de Cuatrociénegas que se encuentra a una elevación cercana a 740 m y explica hasta un 61% la variabilidad del periodo invierno-primavera observada en dicha región. Esta variabilidad, aunque alta, debe ser menor a lo que los árboles pudieran experimentar en la parte alta de la montaña; no obstante, el volumen de precipitación que se presenta en esta altitud es desconocido, debido a la ausencia de estaciones climáticas a esa elevación de la montaña.

La precipitación más importante para este sitio es la de verano, que constituye más de 50% del total anual; sin embargo, la madera tardía, que se forma en esa época del año, respondió en términos climáticos de modo muy similar a la madera temprana, pero con una correlación inferior para el mismo periodo de lluvias. Finalmente, la cronología completa de anillos estuvo influenciada por el mismo periodo (enero-junio) que la madera temprana y tardía, aunque esta vez la precipitación del mes de julio también fue trascendente, pero con una correlación total igualmente menor a la detectada por la madera temprana.

La reconstrucción indica etapas de baja frecuencia en los que la precipitación estacional fue inferior a la media (105 mm); caso concreto son los periodos de 1760, 1850-60, 1890-1900, 1950 y 1990, con una precipitación que no superó los 85.0 mm.

La región de Cuatrociénegas muestra una respuesta positiva a los patrones atmosféricos que afectan la lluvia de primavera-verano en la Sierra Madre Oriental. Lo anterior se corroboró al comparar la precipitación reconstruida para Cuatrociénegas y tres reconstrucciones de invierno-primavera para la región de Saltillo, Coahuila (Cerano, 2004; Constante, 2007; Villanueva *et al.*, 2007). La correlación entre reconstrucciones fluctuó de 0.38 a 0.62 ($p < 0.0001$), no obstante que la precipitación media es diferente, ya que mientras que para la ciudad de Saltillo fue del orden de 120.0 mm, para la parte baja del de Sierra de Zapalinamé con presencia de bosque de piñonero, fue de 240 mm y de 124 mm para el sur del estado de Nuevo León, para Cuatrociénegas solo alcanzó 105 mm, lo cual indica que, aunque la precipitación en ambos sitios está influida por patrones atmosféricos comunes, las barreras orográficas y el distanciamiento a la fuente de origen de las corrientes húmedas (continentalidad) provoca una disminución significativa en la cantidad de lluvia.

La importancia de esta reconstrucción radica no tan solo en los datos anteriores, si no también en la determinación de la variabilidad hidroclimática detectada a nivel regional, que muestra la presencia de sequías intensas en reconstrucciones para la Sierra Madre Oriental, en concreto, las de las décadas de 1750, 1790, 1860, 1900, 1920, 1950, 1970 y 1990, lo que significa que patrones de circulación atmosférica común ejercen una fuerte influencia en toda

esta región, con variaciones propias atribuibles a características fisiográficas específicas de cada sitio.

En esta región, el efecto de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, siglas en Inglés), medido a través del Índice de Lluvia Tropical (TRI, siglas en Inglés), el cual consiste en un estimado de la variación de ENSO, que utiliza las anomalías de precipitación en la región del Pacífico Central y que tiene mayor estabilidad que el Índice Tahiti-Darwin (Wright, 1979), que destacó alta variabilidad a través del tiempo, al correlacionarse con la precipitación reconstruida en el período de 1894 a 1996.

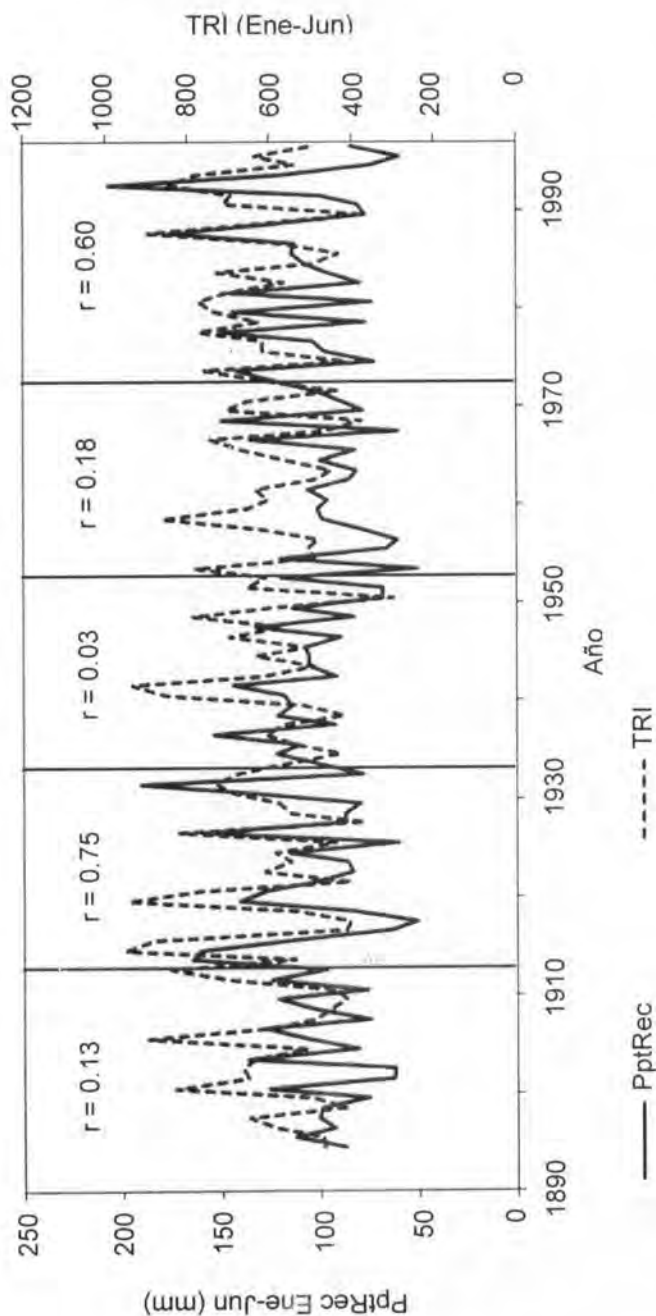
Las correlaciones en subperíodos de 20 años fueron tan altas como de 0.75 (período 1914-1933) a casi nula (0.03) entre 1934 y 1953 (Figura 6). Esta variación de respuesta también ha sido detectada en reconstrucciones paleoclimáticas para la Sierra Madre Occidental y Oriental (Stahle *et al.*, 1998; Cleaveland *et al.*, 2003; Cerano, 2004), con lo que se demuestra la inestabilidad a largo plazo de la teleconexión del Pacífico Ecuatorial con el clima del noreste de México. Periodos de sequía prolongados en esta región pudieran estar relacionados con acontecimientos intensos de El Niño en su fase cálida (Magaña *et al.*, 1999) y que se evidencian como eventos de baja frecuencia en una reconstrucción de precipitación Invernal para Durango, donde el período de sequía de 1950-1965 estuvo asociado con valores TRI extremadamente bajos (Cleaveland *et al.*, 2003).

En esta reconstrucción, el período 1950-1965 también fue inusualmente seco, aunque no se encontró una correlación significativa entre los valores de precipitación y el TRI; no obstante, los valores medios del TRI (587 mm) para este lapso (1950-1965) estuvieron por debajo de la media (611 mm) derivada del total de datos disponibles (1894-1996). Sequías previas en esta reconstrucción quizás hayan sido influidas por este fenómeno, como se ha demostrado para otras regiones del norte de México (Stahle *et al.*, 1998; Cleaveland *et al.*, 2003).

La región de Cuatrociénegas es muy valiosa por su biodiversidad, y reconstrucciones paleoclimáticas como la desarrollada en este estudio contribuyen de manera notable a determinar la variabilidad de la precipitación; esta es información básica para planear el uso sustentable del agua en esta región. La presión sobre los recursos hídricos en el valle es cada vez más intensa y la explotación de este acuífero realizada sin un conocimiento previo de las fluctuaciones hidroclimáticas en el pasado, puede generar un disturbio irreversible e incluso la desaparición de este ecosistema único, patrimonio de México y de la humanidad.

CONCLUSIONES

El entendimiento de la variabilidad hidroclimática en una región sujeta a extrema presión antropogénica para el uso de los recursos hídricos resulta fundamental



Las correlaciones indican gran inestabilidad a través del tiempo de la influencia de ENSO en la precipitación primavera-verano que ocurre en esta región. Sólo los subperíodos de 1914 a 1933 y 1974 a 1993 con correlaciones de 0.75 y 0.60 fueron significativas ($p < 0.01$).

Figura 6. Correlación entre la precipitación estacional (enero-junio) de precipitación (PptRec) para Cuatrociénegas, Coahuila y el Índice Tropical de Lluvia (TRI) para el mismo periodo en subperíodos de 20 años.

para considerar medidas preventivas y desarrollar estrategias de manejo para su mejor uso. Las cronologías de anillos de árboles constituyen la fuente indirecta de mayor resolución de alta y baja frecuencia para extender en el tiempo la información climatológica, ya que los datos instrumentales, como es en el caso de la región de Cuatrociénegas no se extienden más allá de los últimos 50 años.

En este estudio, dos cronologías de *Pseudotsuga menziesii* climáticamente muy sensibles se generaron en Sierra La Madera, Cuatrociénegas, Coahuila. La respuesta de estas cronologías fue, en esencia, para la precipitación acumulada del periodo enero-junio.

La reconstrucción de precipitación que se extiende para el periodo 1719-2003 indica sequías recurrentes en periodos aproximados de 50 años (1740-50, 1790, 1860, 1890-1900, 1950 y 1990). De hecho la reconstrucción indica que la sequía de la última década todavía persiste para esta región a diferencia de la extracción de agua que se ha incrementado de forma notable, en particular para el establecimiento de cultivos de alta demanda hídrica.

El efecto de patrones de circulación atmosférica global -como es el caso de El Niño Oscilación del Sur- en la precipitación de esta región ha sido variable en el tiempo, aunque sequías intensas como la detectada entre 1950 y 1965, estuvo asociada con una caída en el TRI, que es un estimado del fenómeno ENSO. La influencia de fenómenos atmosféricos que afectan una gran superficie del noreste de México se han sentido en esta zona, ya que sequías reconstruidas para Saltillo, Coahuila y sur del estado de Nuevo León, también están presentes en esta reconstrucción, lo que a la vez sirve para verificar la confiabilidad de la misma. Las barreras orográficas en el valle de Cuatrociénegas obstaculizan el paso de corrientes húmedas tanto del este como del oeste, por lo que el efecto de estos patrones circulatorios se diluye en el caso de provocar mayor precipitación o se magnifica en el caso de sequías.

La expansión de una red de cronologías de anillos de árboles en esta región permitirá expandir en el tiempo la información paleoclimática y conocer con detalle la variabilidad hidroclimática en esta región, ícono de biodiversidad del desierto Chihuahuense.

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 auspiciado por el US/Nacional Science Foundation (Grant GEO-0452325).

REFERENCIAS

- Cerano P., J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Forestal. Tesis Profesional. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 152 p.
- 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.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2006. Statistics of water in Mexico. SEMARNAT. 4th edition. México, D. F. México. 186 p.
- Constante G., V. 2007. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera para los últimos cuatro siglos en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Forestal. Tesis Profesional. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 72 p.
- 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.
- Douglas, A. E. 1946. Precision of ring dating in tree-ring chronologies. *Tree Ring Research Bulletin* 3: 1-21.
- Fritts, H. C. 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. University of Arizona Press. Tucson, AZ, USA. 286 p.
- 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.
- Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating crossdating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205-221.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2000. Extractor Rápido de Información Climática II (ERIC II). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Jiutepec, Morelos, México. s/p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 1999. Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Cuatrociénegas. México, D. F. México. 167 p.
- Magaña R., V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrizosa y J. Pérez. 1999. El Niño y el clima. In: Magaña Ruiz, V. (Editor). Los impactos de El Niño en México. SEP - CONACYT. México, D. F. México. pp. 23-68.
- Pinkava, D. J. 1979. Vegetation and flora of the Bolsón of Cuatrociénegas region, Coahuila, Mexico - I. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 38: 35-73.

- Stahle, D. W., R. D. Dárrigo, 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. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. *In*: Roig, F.A. (Comp.). *Dendrocronología en América Latina*. EDIUNC. pp. 285-306.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago. Chicago, IL. USA. 73 p.
- Therrell, M. D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland and J. Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107 (D14): 6-1 – 6-8.
- Villanueva D., J., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland, y M. D. Therrell. 2000. Estado actual de la dendrocronología en México. *Rev. Cien. For. en Méx.* Vol. 25 (88): 5-36.
- Villanueva-Díaz, J., D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano-Paredes, M. D. Therrell and M. K. Cleaveland. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climatic Change* 83: 117-131.
- Villarreal-Quintanilla, J. A. y J. A. Encina-Domínguez. 2005. Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana* 70: 1-46.
- Wright, P. B. 1979. Persistence of rainfall anomalies in the Central Pacific. *Nature* 277: 371-374.

FACTORES QUE INCIDEN EN LA SINIESTRALIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Dante Arturo Rodríguez Trejo¹, Hugo Ramírez Maldonado¹,
Hubert Tchikoué¹ y Javier Santillán Pérez¹

RESUMEN

A pesar de que algunos indicadores meteorológicos, tales como la temperatura y la humedad relativa, podrían correlacionar bien con la incidencia de incendios forestales, la influencia de factores sociales y de otro tipo complican esta aparente sencilla relación. Las variables sociales se asocian con la causalidad humana y se refieren, entre otras, a las actividades agropecuarias y al nivel de vida. El presente trabajo se realizó con el propósito de detectar las variables sociales, meteorológicas, productivas, económicas y de uso del suelo, que se correlacionan con las indicativas de siniestralidad de incendios. Se determinó la correlación de Pearson entre seis variables de siniestralidad y 86 variables explicatorias, incluyendo todos los estados del país y considerando un periodo de dos años. Se obtuvieron cientos de correlaciones significativas y se procedió a desarrollar un proceso de regresión de inclusión/eliminación progresiva de variables mediante el procedimiento Stepwise del programa SAS, para obtener los mejores modelos hasta cuatro variables. La superficie de área perturbada, la velocidad más alta de las máximas de viento, el número de productores agrícolas apoyados durante el ciclo productivo primavera verano, el número de combatientes de incendios forestales y el nivel de alfabetización, entre otras, fueron las variables con una mayor correlación con la superficie afectada, el número de incendios y otros indicadores de siniestralidad.

Palabras clave: Correlación de Pearson, incendios forestales, factores de riesgo, procedimiento Stepwise, peligro de incendios, riesgo de incendios.

Fecha de recepción: 21 de diciembre de 2007

Fecha de aceptación: 22 de septiembre de 2008

¹ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Correo-e: dantearturo@yahoo.com

ABSTRACT

Apparently, some meteorological indicators, such as temperature and relative humidity, may correlate well with the incidence of forest fires. However, the influence of social and other type of factors, difficult to find such relationship. The later human factors are related to agricultural and cattle raising activities and livelihoods, among others. This work was conducted in order of detecting social, meteorological, productive, economic and use of soil variables that potentially correlate with forest fires-related variables. For all the states of Mexico, and considering a two- year period, was determined the Pearson correlation among six forest fires-related variables and 86 independent variables. Were obtained hundreds of positive correlations and was developed a progressive regression process of inclusion/exclusion of variables with the use of the Stepwise procedure of program SAS, in order of obtaining the best models with one to four variables. The area of perturbed lands, the maximum among maximum wind speed, the number of peasants supported with money for the Spring-Summer productive cycle, the number of firefighters, the alphabetization level, among others, were the variables better correlated with the affected area, number of fires and other forest fires-related indicators

Key words: Pearson correlation, forest fires, fire risk, Stepwise procedure, factors of fire risk, fire danger

INTRODUCCIÓN

Cada año los incendios forestales afectan a cerca de 300,000 ha en México (CONAFOR, 2005). Se estima que 40% de los ecosistemas forestales del país son mantenidos por el fuego; el porcentaje restante corresponde a ecosistemas sensibles, influenciados o independientes del fuego. En una parte de los ecosistemas adaptados al fuego, los regímenes de incendios están alterados, lo que conduce a su degradación (Schilisky *et al.*, 2007). Tanto para la prevención y el combate tradicional de incendios forestales como en los nuevos esquemas de manejo del fuego, es crucial conocer los factores naturales y antropógenos asociados con la siniestralidad. Lo anterior se aborda en dos formas: mediante índices de peligro y a través de modelos que relacionan frecuencia o superficie afectada con factores de causalidad.

La primera opción se ha abordado más (Magaña, 1983; Benavides y Flores, 1993), pero en ambos procedimientos los aspectos humanos han sido poco estudiados. Entre los escasos trabajos de esta índole puede mencionarse el de Torres y Hernández (1999), quienes hallaron mayores incidencias en las áreas con menor nivel de educación y mayor disponibilidad de territorios para pastoreo en varias regiones del país. Román y Martínez (2006) determinaron que factores

como la presencia de vías de acceso incrementan la siniestralidad en Reservas de la Biósfera del estado de Chiapas. Figueroa (1998) analizó variables sociales y agrícolas que influyeron en la incidencia de incendios forestales durante la histórica temporada de incendios 1998 en México. Martínez (2004) estableció que las quemas negligentes e intencionales, ambas relacionadas con actividad agropecuaria, explican de 20 a 50% de los incendios en España y que el grado de fraccionamiento de la propiedad agrícola y el abandono de parcelas, incrementan el peligro de incendio.

La ocurrencia de incendios y la superficie que afectan son fenómenos influenciados por una conjugación de diversos factores, principalmente climáticos y sociales. Teóricamente, y el sentido común así lo interpretaría, los climáticos podrían explicarlos; sin embargo, los sociales también inciden sobre dichas influencias de manera significativa.

La generación de ecuaciones que describan tal asociación, con variables climáticas y sociales son una herramienta importante para el estudio del incendio en las áreas forestales. Una intención sería la predicción de incendios, que aunque deseable, resulta extremadamente incierta (Andrews *et al.*, 2007). Se puede indicar la incertidumbre con que se predice el clima a mediano y largo plazo para zonas específicas, a pesar de los avances científicos y tecnológicos de los sensores remotos y otro instrumental pertinente al propósito. Así, en la actualidad parte de la investigación se orienta a identificar las variables que explican la ocurrencia de incendios y la superficie que se afecta por ellos.

El objetivo del presente trabajo consistió en determinar qué variables de tipo meteorológico, social, económico, de uso del suelo y productivas, se asocian más para explicar la siniestralidad de incendios forestales a escala de todo el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló una evaluación exploratoria de 86 variables explicatorias, incluyendo variables sociales, productivas, económicas, meteorológicas y otras relacionadas con el uso del suelo, para aclarar seis variables de la manifestación del número de incendios y la superficie que afectan, que fueron consideradas como variables de respuesta; entre estas últimas figuran, además, superficie afectada/superficie forestal, número de incendios/superficie forestal, superficie afectada/número de incendios y (superficie afectada/número de incendios)/superficie forestal (Cuadro 1).

Para algunas variables, como: a) las condiciones de clima antes del periodo de secas, b) las condiciones del clima durante el periodo de secas, c) las condiciones del clima tanto antes del periodo de secas como durante este último y d) la información sobre la precipitación del año anterior, fue necesario incluir datos

Cuadro 1. Variables empleadas para explicar la incidencia de incendios forestales en México.

No.	Variable	Descripción
Variables meteorológicas		
1.	tmaxprom	Temperatura máxima promedio (°C)
2.	tminprom	Temperatura mínima promedio (°C)
3.	tmedprom	Temperatura media promedio (°C)
4.	vmaxprom	Velocidad del viento máxima promedio (km h ⁻¹)
5.	hrelprom	Humedad relativa promedio (%)
6.	pacumep	Precipitación acumulada mensual promedio (mm)
7.	tmaxmax	Temperatura máxima máxima (°C)
8.	tminmax	Temperatura mínima máxima (°C)
9.	tmedmax	Temperatura media máxima (°C)
10.	vmaxmax	Velocidad del viento máxima máxima (km h ⁻¹)
11.	hrelmax	Humedad relativa máxima (%)
12.	pacmemax	Precipitación acumulada mensual máxima (mm)
13.	tmaxmin	Temperatura máxima mínima (°C)
14.	tminmin	Temperatura mínima mínima (°C)
15.	tmedmin	Temperatura media mínima (°C)
16.	vmaxmin	Velocidad del viento máxima mínima (km h ⁻¹)
17.	hrelmin	Humedad relativa mínima (%)

continúa...

continuación Cuadro 1...

No.	Variable	Descripción
Variables meteorológicas		
18.	pacmemi	Precipitación acumulada mensual mínima (mm)
19.	pactper	Precipitación acumulada total en el periodo (mm)
Variables productivas		
20.	nmpappv	Número de municipios apoyados con financiamiento en el ciclo agrícola primavera verano (no.)
21.	nprappv	Número de productores apoyados con financiamiento en el ciclo agrícola primavera verano (no.)
22.	supappv	Superficie apoyada en el ciclo primavera verano (ha)
23.	monappv	Monto de los apoyos en el ciclo primavera verano (\$)
24.	supelep	Superficie elegible para el ciclo primavera verano (ha)
25.	suptotpv	Superficie total para el ciclo primavera verano (ha)
26.	nmpapoi	Número de municipios apoyados con financiamiento en ciclo agrícola otoño invierno
27.	nrapoi	Número de productores apoyados con financiamiento en el ciclo agrícola otoño invierno (no.)
28.	supapoi	Superficie apoyada en el ciclo otoño invierno ha)
29.	monapoi	Monto de los apoyos en el ciclo otoño invierno (\$)
30.	supeleoi	Superficie elegible para el ciclo otoño invierno (ha)
31.	suptotoi	Superficie total para el ciclo otoño invierno (ha)
32.	novinos	Número de ganado de ovinos (no.)

continuación...

continuación Cuadro 1...

No.	Variable	Descripción
Variables productivas		
33.	ncaprino	Número de ganado de caprinos (no.)
34.	nbovino	Número de ganado de bovinos (no.)
35.	ovca	Ovino y caprino, número de cabezas de ganado
36.	ani/sftl	(Ovinos+caprinos+bovinos) / Superficie forestal total (no. ha ⁻¹)
37.	ovca/sft	(Ovinos + Caprinos) / Superficie forestal total (no. ha ⁻¹)
38.	ovcabo	Número de ganado de ovinos, caprinos y bovinos (no.)
39.	supsembr	Superficie sembrada (ha)
40.	supcosech	Superficie cosechada (ha)
41.	valprod	Valor de la producción (\$)
Variables de uso del suelo		
42.	suptotodo	Superficie total de la entidad (ha)
43.	supbosq	Superficie de bosque de la entidad (ha)
44.	supselv	Superficie de selvas de la entidad (ha)
45.	suparb	Superficie arbolada de la entidad (ha)
46.	zoarida	Superficie de zonas áridas de la entidad (ha)
47.	hidrhalo	Superficie de vegetación hidrófila y halófila (ha)
48.	apertur	Superficie de áreas perturbadas (ha)

continuación...

continuación Cuadro 1...

No.	Variable	Descripción
Variables de uso del suelo		
49.	zahhaper	Superficie de zonas áridas, hidrófila, halófila y áreas perturbadas (ha)
50.	supftalt	Superficie forestal (ha)
Variables e índices sociales		
51.	poblac	Población (número de habitantes) (no.)
52.	espvida	Esperanza de vida (años)
53.	alfa6-14	Alfabetización de las edades de 6 a 14 años (no. de alfabetizados)
54.	alfa15	Alfabetización de 15 años o más (no. de alfabetizados)
55.	indeduc	Índice de educación
56.	aentubo	Población con agua entubada (número)
57.	drenaje	Población con viviendas con drenaje (número)
58.	electri	Población con vivienda con electricidad (número)
59.	alf6/pob	Alfabetización de 6 a 14 años relativa a población (no. de alfabetizados/población)
60.	al15/pob	Alfabetización de 15 años relativa a población (no. de alfabetizados/población)
61.	atub/pob	Agua entubada relativa a población (no. con agua entubada/población)
62.	dren/pob	Drenaje relativa a población (no. con drenaje/población)

continúa...

continuación Cuadro 1...

No.	Variable	Descripción
Variables e índices sociales		
63.	elec/pob	Electricidad relativa a población (no. con electricidad / población)
64.	Indservs	Índice de Servicios
65.	pib_p_c	Producto Interno Bruto <i>per capita</i> (\$ persona ⁻¹)
66.	idhs	Índice de Desarrollo Humano en Servicios
67.	idhp	Índice de Desarrollo Humano en Nivel de Vida
68.	idg	Índice de Desarrollo Humano en Género
69.	idh	Índice de desarrollo Humano
70.	al6/sfta	Alfabetización de 6 a 14 años relativa a superficie forestal total (no. de alfabetizados/superficie forestal total, ha)
71.	al15/sft	Alfabetización de 15 años relativa a superficie forestal total (no. de alfabetizados/superficie forestal total, ha)
72.	dren/sft	Drenaje relativa a superficie forestal total (no. con drenaje / superficie forestal total, ha)
73.	elec/sft	Electricidad relativa a superficie forestal total (no. con electricidad / superficie forestal, ha)
74.	atub/sft	Agua entubada relativa a superficie forestal total (no. con agua entubada/superficie forestal total, ha)
Indicadores relacionados con incendios forestales		
75.	supafect	Superficie afectada por incendios forestales (ha)

continúa...

continuación Cuadro 1...

No.	Variable	Descripción
Indicadores relacionados con incendios forestales		
76.	nincen	Número de incendios forestales (no.)
77.	safe/sft	Superficie afectada relativa a superficie forestal total (ha ha^{-1})
78.	ninc/sft	Número de incendios relativo a superficie forestal total (no. ha^{-1})
79.	safe/ninc	Superficie afectada dividida entre número de incendios (tamaño promedio de incendio) (ha incendio^{-1})
80.	s/n/sft	(Superficie afectada / Número de incendios) / Superficie forestal total ($\text{ha incendio}^{-1} \text{ha}^{-1}$)
81.	IDH alto ó bajo	Índice de Desarrollo Humano, calificado como alto o bajo
82.	presglob	Presupuesto global para incendios (\$)
83.	ncombto	Número de combatientes total (no.)
84.	combcfor	Número de combatientes de la CONAFOR (no.)
85.	ncausagro	Número de incendios por causas agropecuarias (no.)
86.	supafagr	Superficie afectada por causas agrícolas (ha)

Los datos fueron registrados para los años 2003 y 2004 y para cada entidad federativa.

de los últimos meses del año anterior a 2003 o a 2004. Es decir, además se incorporaron datos de 2002 para 2003 (y toda fue denominada como del 2003) y de 2003 para 2004 (correspondiente a 2004).

Lo anterior obedece a que se tomaron los meses de ocurrencia de incendios, de sequía y de lluvias específicos para cada estado, lo que originó diferentes grupos de acuerdo al comportamiento del clima, mismos que excedían el año calendario. La información climática provino de las bases de datos del Servicio Meteorológico Nacional. Finalmente, las bases de datos analizadas fueron cuatro a partir de los periodos de sequía-incendios-lluvias compilados (periodo de lluvias del año

anterior, tres meses antes del estiaje, cuatro meses de secas y siete meses antes del periodo de incendios). Cada base de datos incluyó 64 registros, compuestos por dos años y 32 entidades federativas.

Los datos de las variables de tipo social, que incluyen algunas sobre producción agrícola y otras eminentemente sociales, fueron obtenidos de las bases de datos de INEGI (2005), SAGARPA (2005) y PNUD (2005). La información de las variables físicas, como superficies incendiadas y número de incendios procede de CONAFOR (2005) e INEGI (2005) y algunas de las variables inicialmente se emplearon para generar otras, también en el Cuadro 1.

En un principio, el proceso consistió en un análisis de correlación lineal mediante el coeficiente de Pearson para seleccionar las variables explicatorias (independientes) que más se asociaron con las de respuesta (dependientes). Los valores del coeficiente, como era de esperarse, fueron muy bajos en general, salvo para la *Superficie afectada por causas agropecuarias* y el *Número de incendios por causas agropecuarias*. En los análisis posteriores ya no se les consideró, ya que por sí mismas explican alrededor de 90% del comportamiento de las variables de respuesta. Esta observación ratifica la conclusión empírica de que la mayoría de los incendios en México son causados, principalmente, por el uso del fuego en actividades agrícolas e intencionalmente para la crianza de ganado en pastoreo libre. Debido a la débil asociación entre las variables en estudio, evidenciada por el coeficiente de Pearson, se aceptaron valores de éste relativamente bajos.

El análisis numérico fue complementado con otro gráfico, del que se derivó una conclusión trascendente para las etapas posteriores que consistió en que, por lo general, las variables de clima presentaban un patrón en teoría aceptable para los estados con menor Índice de Desarrollo Humano (IDH), en tanto que para los estados con mayor valor en ese índice la conducta era errática. Esto sugirió el análisis separado de dos clases de datos, la primera correspondiendo a los registros con IDH menor a 0.7632 (clase denominada IDH -bajo) y la segunda para los registros con IDH igual o mayor que ese umbral (IDH -alto).

Se tomó como otro criterio posible de clasificación de los registros en la base de datos, a los meses de ocurrencia de sequía, incendios y lluvias, lo que generó cuatro grupos, algunos de ellos con un número de observaciones tan reducido que impidió su análisis estadístico.

La segunda etapa se desarrolló empleando un procedimiento de regresión de inclusión / eliminación progresiva de variables (Stepwise) mediante el programa SAS para microcomputadoras, para obtener los mejores modelos de una a cuatro variables explicatorias, incluyendo aquellas que en la primera etapa presentaron los mayores valores en el coeficiente de correlación. Este proceso se realizó haciendo esas regresiones para el conjunto de datos general, que incluye

los 64 registros por clases, la de IDH-bajo incluye 16 registros en tanto que la de IDH -alto a los restantes 48. En este proceso se corrieron varios cientos de regresiones múltiples. A través del procedimiento Stepwise se hizo la eliminación de las variables independientes que estuviesen correlacionadas entre sí en cada modelo. De los modelos obtenidos fue posible seleccionar las siete ecuaciones con mayor correlación y más significativas, poniendo como subtítulo a las variables explicatorias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las siete ecuaciones seleccionadas del proceso de regresión así como su interpretación se presentan en el Cuadro 2.

Índice de desarrollo por género

$$safe/sft = 0.06837 - 0.09221(idg) \quad \dots\dots\dots (1)$$

La variable dependiente (superficie afectada dividida entre la superficie forestal total, *safe/sft*) refleja en términos proporcionales la superficie que es afectada en cada estado con relación a la superficie forestal total de esa entidad y en la Figura 1 se muestra gráficamente que la variable explicatoria se asocia de manera negativa con la variable dependiente. Es decir, que a menor índice de desarrollo por género (*idg*), se tienen mayores superficies afectadas en relación a la superficie forestal de cada estado. Lo anterior no significa que bajos valores de tal índice ocasionen en forma directa mayores superficies afectadas, sino que bajo las condiciones sociales prevalecientes en el país, que incluyen pobreza e inequidad de género, el índice por género es un buen indicador indirecto de la variable dependiente. El índice referido es también un indicador de desarrollo, y los estados con mayor equidad de género, son los más desarrollados, con menor presión degradante sobre sus recursos forestales, incluyendo incendios forestales, en términos generales. En contraparte, los estados con menores índices de desarrollo, como Oaxaca y Chiapas (INEGI, 2005), tienden a tener una mayor presión sobre sus recursos forestales, con altas tasas de deforestación, según se refieren en SEMARNAT (2000).

De forma análoga, Figueroa (1998) puntualizó que la mitad de los municipios donde ocurrieron incendios en la temporada 1998, tienen alta o muy alta marginación, y más del 50% se dedica a actividades económicas primarias. Mediante un análisis multivariado de 76% de los municipios de interés, el mismo autor determinó, entre otras, las siguientes características distintivas de donde ocurrieron los incendios: rurales indígenas con predominancia indígena, agrícolas con marginación baja, y agrícolas marginados.

Cuadro 2. Modelos obtenidos para explicar estimadores de incendios forestales a partir de variables independientes de tipo social, meteorológico, productivo, de uso del suelo y de estadísticas de incendios forestales.

Ecuación número	Expresión	n	R ²	A	Condiciones
1	$\text{safe/sft} = 0.06837 - 0.09221(\text{idg})$	16	0.6296	0.0001	IDH bajo
2	$\text{supafect} = 222.63214 + 0.00528(\text{apertura}) + 72.18394(\text{vmaxmax})$	32	0.6798	<0.0001	regllov: NDE
3	$\text{ninc/sft} = -0.00011534 - 0.00482(\text{al15/sft}) + 0.00542(\text{atub/sft}) + 0.00000469(\text{nmpappv}) - 0.01183(\text{al6/sfta})$	32	0.9909	<0.0001	regllov: NDE
4	$\text{supafect} = -34825 + 0.35372(\text{nprappv})$	16	0.5533	0.0006	IDH bajo
5	$\text{supafect} = -164.58929 + 3.17161(\text{ncombto}) - 8.46069(\text{combcor})$	23	0.7908	<0.0001	regllov:EFMA
6	$\text{supafect} = 45214 + 0.00547(\text{apertura}) + 81.54865(\text{vmaxmax}) - 615.47825(\text{espvida})$	32	0.7271	<0.0001	regllov: NDEFMAM
7	$\text{nincen} = -32.57327 + 0.01730(\text{ncombto}) + 9.05648(\text{vmaxmax})$	23	0.5760	<0.0001	regllov: ONDEFMA

IDH = índice de desarrollo humano, regllov = precipitación considerada en los meses indicados.

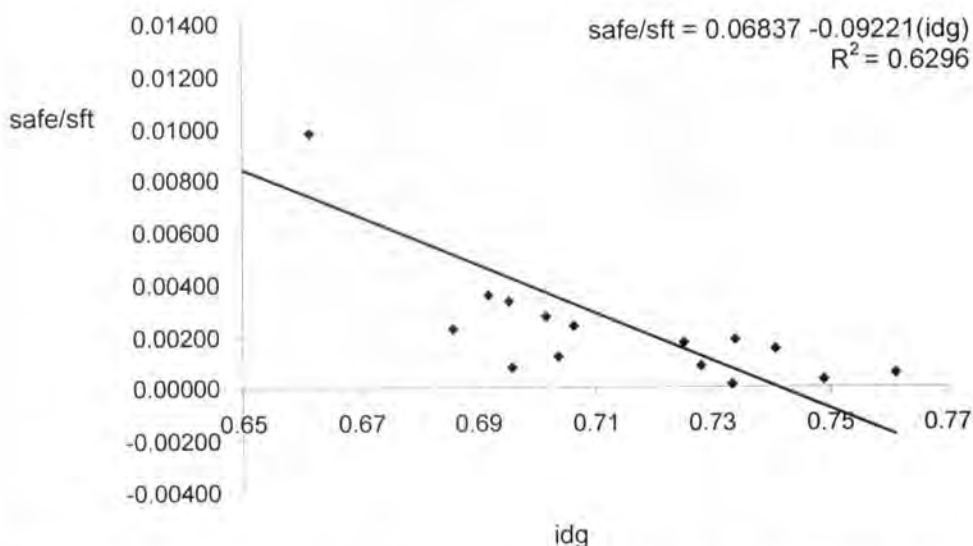


Figura 1. Relación entre el índice de desarrollo humano por género (idg) y la superficie afectada/superficie forestal (safe/sft).

Áreas perturbadas y velocidad del viento

$$\text{supafect} = 222.63214 + 0.00528 (\text{apertur}) + 72.18394 (\text{vmaxmax}) \quad \dots\dots(2)$$

La variable dependiente, relacionada con las manifestaciones de los incendios forestales, es la superficie afectada medida en términos absolutos (supafect). Las variables explicatorias son la superficie de áreas perturbadas (apertur) y la velocidad máxima dentro de las máximas de los vientos (vmaxmax), en el periodo inicial de la temporada de sequía (noviembre, diciembre y enero).

La influencia de ambas variables independientes es congruente. A mayor existencia de áreas perturbadas, mayor es la superficie afectada, ya que con frecuencia dichas áreas son producto de los propios incendios y es en ellas donde se verifica la mayor afectación, puesto que suelen contener vegetación más inflamable. Lo anterior obedece a que el viento tiene un efecto desecante, particularmente en las horas de peligro de incendio, y una menor densidad de árboles en sitios degradados implica bajos niveles de sombra, lo cual favorece la presencia de gramíneas en bosques templado-fríos y por ende, más combustibles superficiales que estarán más secos (disponibles) debido a una mayor exposición a la radiación solar directa.

En el caso de las selvas del sureste mexicano, la relación es muy semejante, con la variante de la penetración del helecho pirófilo *Pteridium aquilinum* (L.) Khun en muchas de ellas, que dificulta la regeneración arbórea, aumenta el peligro de incendio y es muy difícil de erradicar (figuras 2 y 3).

La velocidad del viento también tiene una influencia positiva, ésta es una parte de la triada del comportamiento del fuego que manejan los combatientes de incendios forestales: complejo de combustibles, topografía y tiempo atmosférico, este último reflejado en parte por el viento. A mayor velocidad del viento la afectación por los incendios puede ser mayor, ya que favorece la propagación del fuego proporcionando oxígeno para la combustión, acercando las llamas (la fuente de calor) a los combustibles inmediatos y empujando el aire caliente generado hacia adelante, favoreciendo el secado y disponibilidad de los mismos (Chandler *et al.*, 1983; Rothermel, 1983).



Figura 2. En una selva incendiada en las inmediaciones de la Reserva de Calakmul, Campeche (2005), la invasión del helecho *Pteridium aquilinum* dificulta su recuperación y la hace más inflamable.



Figura 3. Áreas perturbadas por ganado en un bosque de *Pinus oocarpa* en el estado de Chiapas.

Además, en las áreas perturbadas, la ausencia de cubierta vegetal no obstaculiza el paso del viento; en aquellas con manchones de arbolado extensos intercalados con claros grandes, el comportamiento del fuego es errático, pues en una zona arbolada no perturbada los vientos que cruzan lentamente por entre los árboles, lo hacen con mayor rapidez por encima de ellos. En cambio, en un área perturbada, los vientos que surcan por encima de las copas en los fragmentos de bosque cambian de dirección en los claros, incluso hacia una rumbo contrario (Griffiths, 1985), contribuyendo a hacer más impredecible el comportamiento del fuego, lo que dificulta aún más su control y, finalmente, propicia una afectación más extensa del terreno. Así pues, ambas variables generan una sinergia favorable a la propagación del fuego.

Alfabetización, servicios y apoyo financiero al productor

$$\begin{aligned} \text{ninc/sft} = & -0.00011534 - 0.00482 (\text{al15/sft}) + 0.00542 (\text{atub/sft}) + 0.00000469 \\ & (\text{nmpappv}) - 0.01183 (\text{al6/sfta}) \quad \dots\dots(3) \end{aligned}$$

La variable dependiente, número de incendios dividido entre la superficie forestal total de la entidad ($ninc/sft$), es una medida de la densidad de incendios. Las variables de alfabetización ($al15/sft$, $al6/sfta$) impactan negativamente la densidad de incendios, lo que puede relacionarse con que a mayor nivel de desarrollo y de alfabetización, se provocan menos incendios forestales. Esto concuerda con los hallazgos de Torres y Hernández (1999) para varias regiones del país, quienes determinaron una relación inversa entre el nivel educativo y el número de estos siniestros. La variable dependiente Número de habitantes con agua entubada ($atub/sft$) se asocia negativamente (aunque de manera indirecta) con la densidad de incendios, de modo que cifras altas en esta variable se asocian con mayor desarrollo.

La otra variable explicatoria, número de municipios con apoyo económico en el ciclo primavera verano ($nmappv$), refleja una influencia positiva sobre el número de incendios, lo que permite suponer que en tanto sea mayor ese número de municipios apoyados, mayor será también el número de incendios. Dado que las causas más importantes de incendios forestales en el país son de origen agropecuario, con casi el 50% de la siniestralidad en el país (CONAFOR, 2005), destaca que la mayor actividad agrícola propicia más incendios.

Es importante esta consideración porque podría incitar políticas públicas aparejadas a los apoyos que fueran más eficaces para prevenir incendios forestales. De modo similar, Torres y Hernández (1999) identificaron una relación positiva entre el número de incendios y la superficie disponible para pastoreo en varias regiones de México.

A su vez, Román y Martínez (2006), encontraron para las Reservas de la Biosfera del estado de Chiapas, que la superficie afectada por incendios estuvo relacionada con la densidad de la red de caminos y con la superficie disponible para actividades agrícolas.

Apoyo financiero al productor

$$supafect = -34825 + 0.35372 (nprappv) \quad \dots (4)$$

La variable explicatoria Número de productores apoyados en el ciclo primavera verano ($nprappv$), hace evidente su relación directa con la superficie afectada ($supafect$), pues en la medida que se mantenga el fuego como una de las principales herramientas para la limpia de terrenos y no se hagan las previsiones adecuadas para evitar su propagación, la presencia de incendios estará asociada a las actividades productivas agropecuarias.

La Figura 4 ilustra claramente que la influencia de estas actividades sucede en el ciclo primavera verano y no en el de otoño invierno.

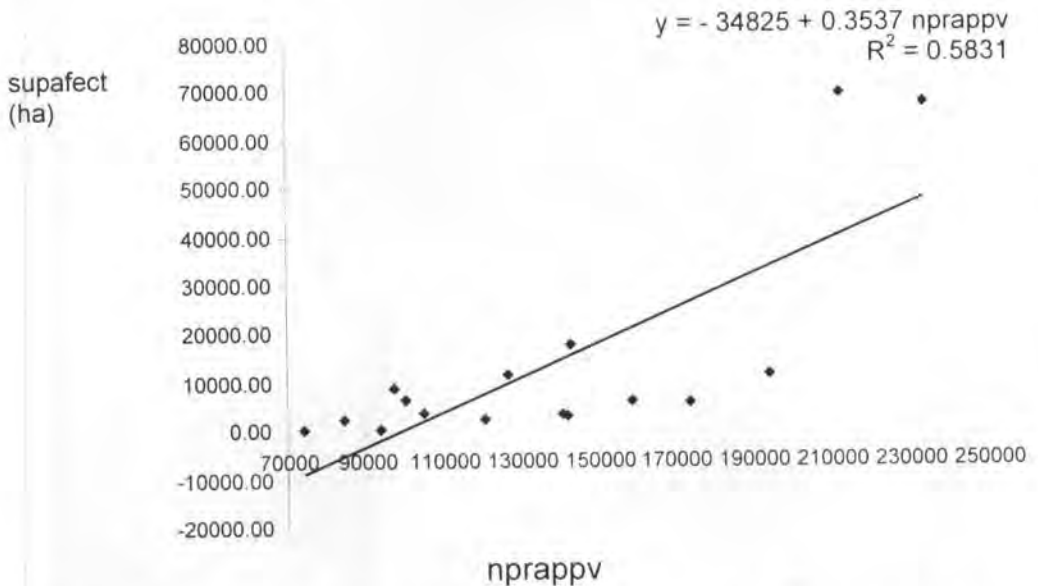


Figura 4. Relación entre número de productores con apoyo económico en el ciclo productivo primavera verano (npacpv) y la superficie afectada por incendios forestales (safect).

Número de combatientes y de voluntarios

$$\text{supafect} = -164.58929 + 3.17161 (\text{ncombto}) - 8.46069 (\text{combcfor}) \quad \dots\dots(5)$$

La presencia del número total de combatientes (incluyendo voluntarios), con signo positivo, se interpreta como una respuesta a la presencia de incendios, no tanto como una explicación de su ocurrencia. Así, el fenómeno anterior denota que se pueden concurrir muchos voluntarios en los incendios grandes, con muy buena intención pero carentes de preparación formal y que no siempre ven acción, aunque se registre su presencia o participación. El signo negativo del número de combatientes de CONAFOR, indica que a mayor presencia de los colaboradores de esta procedencia, la superficie afectada fue menor. Esto hace suponer que su eficacia estaría más asociada con sus capacidades que con su número, bajo el entendimiento de que, por lo general, la instrucción de los combatientes de dicha institución es superior a la de los voluntarios.

Existen otras instituciones muy valiosas para el combate de incendios forestales, en particular las de los gobiernos del Distrito Federal y de los estados (Figura 5),

por lo que, de categorizar estos recursos, seguramente se sumarían a la tendencia que se advierte en este modelo para CONAFOR, pero no se contó con dicha información para el presente trabajo. Esto tampoco debería disminuir la importancia social y ambiental que tiene la participación de combatientes de otras dependencias, por su trascendencia colateral, lo que sugerirá que la presencia de los voluntarios y de los combatientes de otras organizaciones diferentes a la CONAFOR y a las ya referidas es deseable, con la adecuada capacitación que éstos reciben.



Figura 5. Combatientes de CONAFOR y del Gobierno del Distrito Federal en una quema prescrita.

Áreas perturbadas, velocidad del viento y esperanza de vida

$$\text{supafect} = 45214 + 0.00547 (\text{apertura}) + 81.54865 (\text{vmaxmax}) - 615.47825 (\text{espvida}) \dots\dots(6)$$

Las dos primeras variables independientes ya han sido consideradas en las ecuaciones anteriores; sólo aparece como variable nueva la Esperanza de

Vida (esperanza de vida), aunque debe ser tomada en cuenta con una relación indirecta, con influencia negativa. Dificilmente se podría explicar su repercusión directa, pero si se asocia con el desarrollo social se manifiesta un efecto indirecto, es decir, a mayor desarrollo social, la esperanza de vida de la población se incrementa, y con ello, se puede reducir la influencia negativa de la población sobre la conservación de los recursos naturales, en particular con respecto a la ocurrencia de incendios y la superficie que impactan.

Número de combatientes y voluntarios y velocidad del viento

$$nincen = -32.57327 + 0.01730 (ncombto) + 9.05648 (vmaxmax) \quad (7)$$

Ambas variables ya han sido interpretadas antes. También debe tenerse presente que la superficie afectada y el número de incendios, la variable dependiente en este caso, están fuertemente asociadas. Ante vientos más veloces, cabe esperar una mayor proporción de escapes de quemas agropecuarias o un mayor porcentaje de éxitos para cualquier causa o agente de ignición.

En algunos casos el número de observaciones es relativamente reducido (32), por lo que los ajustes podrían ser mejorados cuando se cuente con información más amplia. Por otro lado, dada la relación difusa entre algunos de los factores que inciden sobre las variables de las manifestaciones de los incendios, algunas de las interpretaciones son tentativas pues sugieren hacia dónde orientar el estudio de los factores que influyen en la siniestralidad de los incendios forestales. La repercusión de factores ajenos y de otros no registrados, pero que influyen en la siniestralidad, pueden ser en buena medida los causantes de dicha relación difusa. Por ejemplo, los cultivos ilícitos contribuyen a la siniestralidad y no se tiene información de ellos (CONAFOR, 2005). Tampoco hay datos de la incidencia de rayos en seco, principal causa natural de incendios, especialmente en los estados del norte del país. Asimismo, la información meteorológica con que se cuenta en México procede de pocas estaciones meteorológicas, 825 según el SMN-CNA (2008), correspondientes a 283,789 ha estación¹.

Por otra parte, los distintos factores naturales (como los meteorológicos) y los sociales funcionan con intensidad diferente en distintas regiones, que no concuerdan con los límites políticos de los estados. No obstante, a pesar de todas las fuentes de variabilidad señaladas, se considera que las tendencias obtenidas son de utilidad, bien para ser consideradas directamente, o bien como base para estudios locales.

Otra variable de relevancia más de entre las no contempladas puede estar representada por el cambio climático global, debido al cual se espera una mayor presencia de sequías, incidencia de rayos y superficie afectada por el fuego en Norteamérica (Collins *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

Las variables explicativas superficie de áreas perturbadas, velocidad máxima de entre las máximas de viento y número de productores agrícolas apoyados económicamente en el ciclo productivo primavera-verano, tuvieron correlación positiva con variables dependientes relacionadas con siniestralidad, como número de incendios, superficie afectada por el fuego; así como los índices que usan estas dos variables como numerador y la superficie forestal como denominador.

Las variables Nivel de alfabetización y Esperanza de vida exhibieron una correlación negativa con dichas variables dependientes.

El número de combatientes profesionales mostró una correlación negativa con las variables dependientes, denotando que a mayor participación de dichos elementos, que cuentan con experiencia y capacitación, menor superficie afectada o menor número de incendios.

El índice de desarrollo humano por género estuvo indirectamente relacionado con las variables dependientes de siniestralidad, pues la razón superficie afectada entre superficie forestal tendió a ser mayor a menores índices de equidad de género. Se asume que en términos generales los estados con mayor inequidad de género están más atrasados en diversos aspectos, entre ellos el manejo de sus recursos forestales, lo que se puede relacionar con más incendios.

Debe puntualizarse que todos los modelos seleccionados exhibieron un coeficiente de correlación de regular a alto (entre 0.55 a 0.99) y que resultaron altamente significativos ($p=0.0006$ a $p<0.0001$). En particular para aquellos con coeficientes de correlación regulares, las limitaciones por información no disponible relativa a variables como incidencia de rayos en seco, en particular para los estados del norte del país, además de la falta de más estaciones meteorológicas y el que los límites políticos de los estados pocas veces coinciden con límites ecológicos entre tipos de ecosistemas o grupos étnicos, confieren variación difícil de eliminar.

La información presentada muestra tendencias relevantes que pueden ser utilizadas directamente o que dan pábulo para investigaciones regionales más profundas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean externar su agradecimiento a la Comisión Nacional Forestal por haber autorizado el uso de datos contenidos en el informe final del análisis del Programa Nacional de Prevención y Combate de Incendios Forestales, ejercicio fiscal 2004, llevado a cabo por la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Igualmente, a la Ing. Erica Bustamante Rodríguez por

su invaluable apoyo en la búsqueda de información meteorológica y social. Al M. en C. Ambrosio Bojorques Sosa por su gran ayuda en el procesamiento analítico que conformó el presente estudio.

REFERENCIAS

- Andrews, P., M. E. Finney and M. Fischetti. 2007. Predicting wildfires. *Scientific American* 297(2): 32-39.
- Benavides S., J. de D. y J. G. Flores G. 1993. Áreas con diferente riesgo de incendio forestal. *In*: Arteaga M., B. (Ed.). Memoria del Primer Foro Nacional sobre Manejo Integral Forestal. DICIFO, UACH. Chapingo, Edo. de México. 10-11 octubre 1991. pp. 376-286.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Traub and D. Williams. 1983. Fire in forestry. Forest fire behavior and effects. Vol. 1. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY. USA. 450 p.
- Collins, W., R. Colman, J. Haywood, M. R. Manning and P. Mote. 2007. The physical science behind the climate change. *Scientific American* 297(2): 48-57.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2005. Reporte de incendios forestales. CONAFOR. México, D. F. s/p.
- Figueroa S., B. 1998. Causas estructurales de los incendios forestales. *In*: González V., C. E. Memoria del Foro Nacional Los Incendios Forestales en el contexto del Desarrollo Nacional. 14-15 de octubre de 1998. México, D. F. Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal, USAID, WWF. pp. 21-34.
- Griffiths, J. F. 1985. Climatología aplicada. Publicaciones Cultural. México, D. F. 154 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx> (23 de octubre de 2005).
- Magaña T., O. S. 1983. Determinación de un índice de peligro de incendios forestales para el municipio de Tlahuapan, Pue. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 70 p.
- Martínez F., J. 2004. Análisis, estimación y cartografía del riesgo humano de los incendios forestales. Tesis de doctorado en Geografía. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. Madrid, España. 337 p.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2005. URL: <http://www.undp.org/spanish/> (7 de noviembre de 2005).
- Román C., R. M. and J. Martínez V. 2006. Effectiveness of protected areas in mitigating fire within their boundaries: Case study of Chiapas, Mexico. *Conservation Biology* 20(4): 1074-1086.

- Rothermel, R. C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report INT-143. USDA Forest Service. Ogden, UT. USA. 161 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). 2005. <http://www.sagarpa.gob.mx/> (31 de octubre de 2005).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2000. Anuario estadístico de la producción forestal 2000. México, D. F. 154 p.
- Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua (SMN-CNA). 2008. <http://smn.cna.gob.mx/> (3 de agosto de 2008).
- Schiliski, A., J. Waugh, P. González, M. González, M. Manta, H. Santoso, E. Alvarado, A. A. Nuruddin, D. A. Rodríguez T., R. Swaty, R. Schmidt, M. Kauffmann, R. Myers, A. Alentar, F. Kearns, D. Jonson, J. Smith, D. Zollner and W. Fulks. 2007. Fire ecosystems and people: Threats and strategies for global biodiversity conservation. GFI Technical Report 2007-02. The Nature Conservancy. Arlington, VA. USA. 20 p.
- Torres R., J. M. y C. Hernández R. 1999. Factores socioeconómicos que afectan la presencia de incendios forestales. Resúmenes del IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. 24-26 de noviembre de 1999. SOMEFOAC, ISIMA. Durango, Dgo., México. pp. 175-176.

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL DEL PARQUE NACIONAL MALINCHE: TLAXCALA - PUEBLA

Fabiola Rojas-García¹ y Lourdes Villers-Ruiz²

RESUMEN

Con el fin de estimar la biomasa arbórea del Parque Nacional Malinche se elaboró un mapa de las comunidades vegetales del volcán. El procesamiento cartográfico se realizó en un SIG y se basó en la fotointerpretación de 32 fotografías aéreas (escala 1:25,000). Se identificaron diez comunidades vegetales, se utilizaron los inventarios forestales de 15 parcelas de monitoreo permanente de 1 ha, y se calculó el valor de importancia como el determinante de la composición vegetal. *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis*, presentaron los máximos valores de dominancia, frecuencia e importancia, en las parcelas de monitoreo permanente. Para estimar la biomasa de los árboles en pie de cada parcela se aplicaron ecuaciones volumétricas convencionales y se calculó el valor específico de la densidad de la madera para las cinco especies. Se calculó la biomasa de las comunidades vegetales del parque en función de la composición vegetal, la talla y la densidad de árboles. Los valores por hectárea fueron extrapolados a la superficie de cada comunidad vegetal. La superficie forestal del Parque Nacional Malinche es de 20,607 ha y ahí se almacenan 4,881,685 t de biomasa, magnitud muy importante que puede verse alterada en pocos años. Por ello deben ofrecerse alternativas a las comunidades locales, para que desarrollen acciones congruentes con la categoría actual del ANP, y favorecer así la conservación de sus recursos naturales.

Palabras clave: Biomasa, composición florística, densidad de la madera, ecuaciones volumétricas, inventario forestal, Parque Nacional Malinche.

Fecha de recepción: 31 de enero de 2008.

Fecha de aceptación: 29 de septiembre de 2008.

¹ Facultad de Ciencias, UNAM. Correo-e: fabiosxto1981@yahoo.com.mx

² Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

ABSTRACT

In order to estimate the forest biomass of Malinche National Park, a map of plant communities of the volcano was designed, the cartographic processing was made through GIS and it was based upon the photo-interpretation of 32 aerial photographs (scale 1:25,000). Ten plant communities were identified, forest inventories of 15 permanent 1 ha-plots were used and the importance value to determine vegetation composition was calculated. *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* and *Alnus jorullensis* showed the maximum dominance, frequency and importance values in the plots. To assess the biomass of the trees of each plot, conventional volumetric equations were used and the specific gravity of the five species was obtained. The biomass assessment of the plant communities of the park was supported by the vegetal composition, size and tree density. Biomass per hectare values were extrapolated to the area of each plant community. The forest surface of the National Park Malinche is 20,607 ha, where 4,881,685 t are stored biomass, which a great amount, a condition that might change throughout the years. Thus, options to develop activities accordant with the category of the NPA must be offered to the local people, which, in the end, will favor the conservation of natural resources.

Key words: Biomass, floristic composition, specific gravity, volumetric equations, forest inventories, Malinche National Park

INTRODUCCIÓN

La dinámica de los ecosistemas terrestres depende de las interacciones entre diversos ciclos biogeoquímicos, particularmente el ciclo del carbono (C), los ciclos de nutrientes y el ciclo hidrológico, que pueden resultar alterados por la intervención del hombre. Los sistemas ecológicos de la tierra, por medio de los cuales el C queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo, desempeñan un papel importante en su ciclo global (IPCC, 2007).

Las actividades humanas han modificado y continúan modificando los flujos naturales del ciclo global de este elemento. Se tiene evidencia que en la década de los noventa aumentaron las emisiones de carbono a la atmósfera debido al cambio de uso de suelo (Houghton, 2003). Por ejemplo, la deforestación reportada a nivel nacional para mediados de la década de los años ochenta fue de 670 mil ha/año, 170 mil correspondieron a bosque templado y 500 mil a bosques tropicales o semitropicales (Masera *et al.*, 1997).

En México existen condiciones propicias para promover la conservación y el manejo de los bosques naturales, la reforestación y el estímulo para la creación de sistemas agroforestales, actividades que se observan como alternativas para mitigar las emisiones de Gases de Efecto de Invernadero. Se han realizado

numerosas estimaciones del almacenamiento de C en bosques, donde se utiliza la información de los inventarios forestales que contabilizan la biomasa a partir de datos medidos en campo como altura del árbol y diámetro a la altura del pecho (Escandón *et al.*, 1999; Ordóñez *et al.*, 2001; Acosta *et al.*, 2002; Fragoso, 2003; Peña del Valle, 2003; Rojo *et al.*, 2003; Zamora, 2003; Monroy y Návar, 2004; Rojas, 2004; Castañeda *et al.*, 2005; Pineda *et al.*, 2005; Rojo *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2006; Rojas, 2008). Estos estudios tienen como fin último la incorporación de sus resultados en las negociaciones internacionales, programas gubernamentales y organizaciones civiles frente al cambio climático.

El Parque Nacional Malinche ha sido una zona ampliamente abordada desde el punto de vista físico-ambiental (Gómez, 2002; Peña del Valle, 2003; Rojas, 2004; Wong, 2005; Castillo, 2006; Castro, 2007). Esta Área Natural Protegida (ANP) cuenta con un Plan de Manejo Integral que plantea poco cambio en el uso de suelo y una extracción controlada de recursos forestales, programas estatales de reforestación y vigilancia para la detección de incendios.

El objetivo del presente trabajo consistió en estimar la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche, por tipo de comunidad vegetal con el uso de ecuaciones volumétricas, evaluación especialmente interesante pues al tratarse de una ANP se promueve que el carbono almacenado en la biomasa de sus bosques se conserve a largo plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el volcán la Malinche, que fue decretado Parque Nacional desde 1938. Tiene una superficie total de 46,095 ha, alcanza una altitud de 4 461 m y se distribuye en parte de los estados de Tlaxcala y Puebla. Se localiza entre los 19°06'04" y 19°20'06" latitud Norte y 97°55'41" y 98°10'52" longitud Oeste.

Los suelos proceden de cenizas volcánicas de andesita de hornblenda, que presentan un proceso de andosolización (Castro y Siebe, 2007). Según la clasificación de Köppen modificado por García (1973), en esta zona rige un tipo de clima templado subhúmedo.

El gradiente altitudinal, las diferentes condiciones de suelo y clima, la orientación de la ladera y las grandes barrancas derivan en la distribución de distintos tipos de bosque en la Malinche. Las comunidades vegetales forman intrincados mosaicos y a menudo se organizan en asociaciones, condición que dificulta la fotointerpretación y cartografía precisa (Rojas, 2008).

Mapa de vegetación

Se elaboró un mapa de las comunidades vegetales del Parque Nacional Malinche. Se efectuó la fotointerpretación de 32 fotografías aéreas tomadas en 2001, a escala 1:25,000 (SECODUVI, 2001), basada en los criterios propuestos por Ayala (1995).

El procesamiento cartográfico de la información se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica ILWIS (Integrated Land and Water Information System) versión 3.4.

Inventario

Para la verificación de la fotointerpretación se establecieron en campo 15 parcelas de monitoreo permanente, seleccionadas según comunidad vegetal, gradiente altitudinal y orientación de la ladera. Cada parcela de 1 ha se ubicó en la fotografía aérea y se utilizó como unidad de muestreo (como patrón en cuanto a estructura, densidad y composición) en el momento de hacer la fotointerpretación (Peña del Valle, 2003 y Rojas, 2004). Dentro de ellas, se marcaron 10 círculos de 0.1 ha, separados por 50 m del centro del primero al segundo (Figura 1). En cada círculo se inventariaron todos los árboles con altura mayor a 1.3 m, se registró la especie, el DAP y altura total de cada individuo.

Con el fin de nombrar las distintas comunidades fotointerpretadas se consideró que el valor de importancia es determinante para definir la composición vegetal de la comunidad. Por ello, a partir de las especies registradas en el inventario en cada parcela de monitoreo permanente se calculó por especie arbórea y se construyó de la siguiente forma (Kent y Coker, 1992):

$$\text{Valor de importancia} = \text{Densidad relativa} + \text{Dominancia relativa} + \text{Frecuencia relativa} \quad (1)$$

Donde:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Número de árboles de la especie en el sitio}}{\text{Número total de árboles en el sitio}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia de la especie}}{\text{Dominancia de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia de la especie}}{\text{Frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

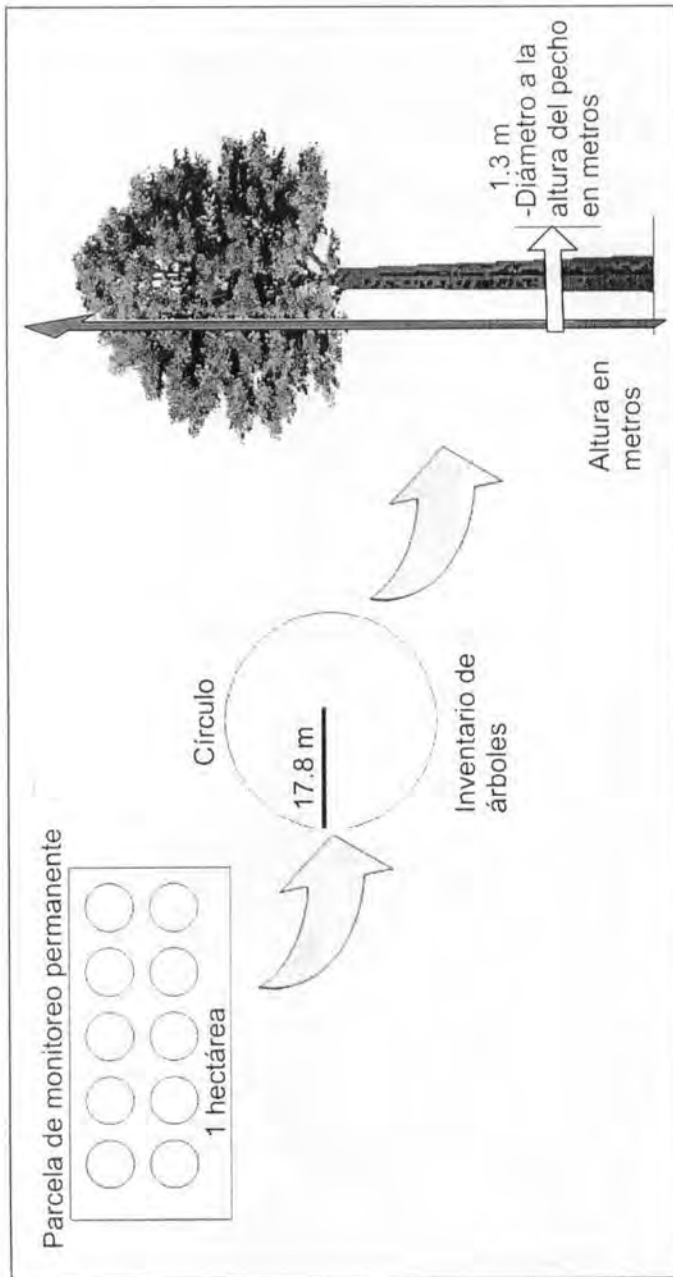


Figura 1. Descripción de una parcela de monitoreo permanente y los atributos de cada árbol registrados durante el levantamiento del inventario.

La dominancia de la especie es la suma de sus áreas basales. La frecuencia de la especie es el número de círculos en la parcela de monitoreo permanente en los que está presente la especie y la frecuencia de todas las especies es la suma de todas las frecuencias de las especies.

Estimación de la biomasa aérea forestal

Para calcular la biomasa de los árboles en pie de cada parcela de monitoreo permanente, o de cada comunidad definida, se requiere conocer el volumen del árbol y la densidad de la madera.

Volumen - Los datos del inventario forestal registrados en campo respecto a la estructura del árbol y especie, se utilizaron para obtener el volumen de acuerdo con la ecuación convencional propuesta por Grijpma (2001):

$$V = (DAP^2) * (\pi/4) * (h) * (CM) \quad (2)$$

Donde

V = Volumen (m^3)

DAP^2 = Diámetro a la altura del pecho al cuadrado (m)

$\pi/4$ = 0.7854

H = Altura del árbol (m)

CM = Coeficiente mórfico forestal

Debido a que algunos géneros portan formas irregulares, la estimación del volumen se corrige al multiplicarlo por 0.7 constante del coeficiente mórfico forestal (CM), que se refiere a la relación entre el volumen de un árbol y el volumen de un cilindro tomando como base el área transversal del árbol a la altura del DAP y la altura del propio árbol (Caballero, 1982).

Densidad de la madera - Para determinar la densidad de la madera de cada especie, se extrajeron virutas de 5 mm de diámetro, con el uso del taladro Pressler. Se seleccionó un árbol en cada uno de los 10 círculos por parcela de monitoreo permanente de acuerdo con la composición y la dominancia de la especie, se tomó en cuenta que tuviera un DAP mayor a 30 cm y estuviera libre de plagas y enfermedades (Gutiérrez, 2004).

Cada muestra se guardó en un popote de plástico para su traslado y se almacenó en una hielera para evitar su deshidratación; el orificio producido por el taladro se cubrió con cera de Campeche para protegerlo de la infestación de plagas.

Después de 24 horas de la extracción, los núcleos de madera se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001g Sartorius analytic A200S y se registró el peso inicial. Se midió con un vernier el diámetro, se consideró como un cilindro perfecto y se determinó el volumen verde de los núcleos de madera con la fórmula (Valencia y Vargas, 1997):

$$Vv = \pi * D^2 * L / 4 \quad (3)$$

Donde:

Vv = Volumen verde estimado del cilindro de la madera (cm^3)

D = Diámetro del núcleo de madera (cm)

L = Largo del núcleo de madera (cm)

Para obtener el peso anhidro (Po) de los núcleos de madera se colocaron en una estufa de secado con temperaturas de 100 a 105° C BlueM SW-17TA, durante 24 h y se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001 g utilizada para las muestras húmedas. Con los dos valores obtenidos se aplicó la fórmula de la densidad de la madera, propuesta por Valencia y Vargas (1997):

$$Db = Po / Vv \quad (4)$$

Donde:

Db = Densidad básica de la madera (g/cm^3)

Po = Peso anhidro (g)

Vv = Volumen verde (cm^3)

Biomasa.- Para calcular la biomasa de cada árbol en toneladas, se siguió la recomendación de Brown y Lugo (1984) que indica que una vez obtenido el volumen de cada árbol, su valor se multiplica por la densidad específica de la madera. Asimismo estos autores proponen que el resultado a su vez se multiplique por 1.3, constante del factor de expansión de fustes (FE), para incluir otros componentes de la biomasa, que no se pueden conseguir por mediciones directas, como las ramas y el follaje:

$$B = V * Db * FE \quad (5)$$

Donde:

B = Biomasa (t)

V = Volumen (m^3)

Db = Densidad básica de la madera (t/m^3)

FE = Factor de expansión de fustes

Para el cálculo del valor de biomasa por parcela de monitoreo permanente, se sumaron los valores individuales de los árboles de cada uno de los diez círculos. Se obtuvo un valor promedio por comunidad vegetal de acuerdo con los resultados de las parcelas multiplicado por la superficie en hectáreas de cada comunidad fotointerpretada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estudios de biomasa en bosques se han usado para diferentes propósitos: a) calcular la distribución de la materia orgánica (Brown, 1997 y Teller, 1998); b) cuantificar los nutrientes (Lim, 1988; Jaramillo *et al.*, 2003); c) determinar la fijación de energía; d) estimar el contenido de C (Brown y Lugo, 1984; Brown *et al.*, 1989); e) medir el incremento corriente anual (Rojas, 2004) y f) evaluar cambios en la estructura (Brown, 1997). La estimación de la biomasa de los bosques representa una valiosa información para la elaboración de planes de manejo (Escandón *et al.*, 1999).

La captura de C en los bosques puede ayudar a moderar el continuo incremento en la concentración atmosférica de CO₂ (Brown, 1996), por ello se busca conocer la capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea (Acosta *et al.*, 2002).

Para conocer la cantidad de biomasa en la Malinche se partió del hecho de que existen varios métodos para estimar este contenido en un bosque. El procedimiento destructivo consiste en cortar el árbol y cuantificar la biomasa en términos de peso seco. A partir de esta técnica se pueden diseñar ecuaciones alométricas que tienen una alta precisión (De Jong *et al.*, 1995; Deans *et al.*, 1996; Schroeder *et al.*, 1997; Ketterings *et al.*, 2001; Vaccaro *et al.*, 2003; Monroy y Návar, 2004), pero implica invertir mucho tiempo debido a que este tipo de trabajo por lo general es llevado a cabo en localidades remotas, el traslado del material hacia los laboratorios es muy complejo y su costo es elevado (Schlegel *et al.*, 2000; Van Camp *et al.*, 2004). Para reducir costos se utilizan ecuaciones alométricas existentes desarrolladas casi siempre fuera de la región en donde se ejecuta el proyecto forestal (Gayoso *et al.*, 2002).

El uso de las ecuaciones alométricas se recomienda cuando se presentan condiciones similares a los sitios de estudio donde fueron elaboradas (López *et al.*, 2003). Aunque desde el punto de vista estadístico estas ecuaciones sólo son aplicables estrictamente a las especies consideradas podrían extrapolarse a un mayor número de especies con arquitectura similar (Acosta *et al.*, 2002). Pero la certidumbre del método alométrico se reduce cuando se hace extensivo a grandes áreas (Catchpole y Wheeler, 1992) y se involucran individuos de clases menores a 10 cm de DAP (Brown, 1997).

Por otro lado, la biomasa de los árboles puede estimarse si se conoce el volumen comercial o de fustes y no su peso (Fragoso, 2003; Fukuda *et al.*, 2003 y Zamora, 2003). Para convertir este valor a biomasa es necesario contar con la densidad básica de la madera, que permite transformar los volúmenes húmedos en biomasa seca, expresada en kilogramos o toneladas por unidad de volumen (Brown *et al.*, 1989).

Para estudios regionales se prefiere la aproximación volumétrica ya que es más sencilla de usar (Chidiak *et al.*, 2004). El empleo de estas ecuaciones resulta confiable, rápidamente ejecutable y económico (Hoover *et al.*, 2000; Löwe *et al.*, 2000; Bautista y Torres, 2003; Garzuglia y Saket, 2003; Rodríguez *et al.*, 2006; Vallet *et al.*, 2006). En este estudio se pudo aplicar este modelo pues se calculó la densidad básica de la madera de las principales especies del parque a partir de los datos del inventario en campo.

Mapa de vegetación

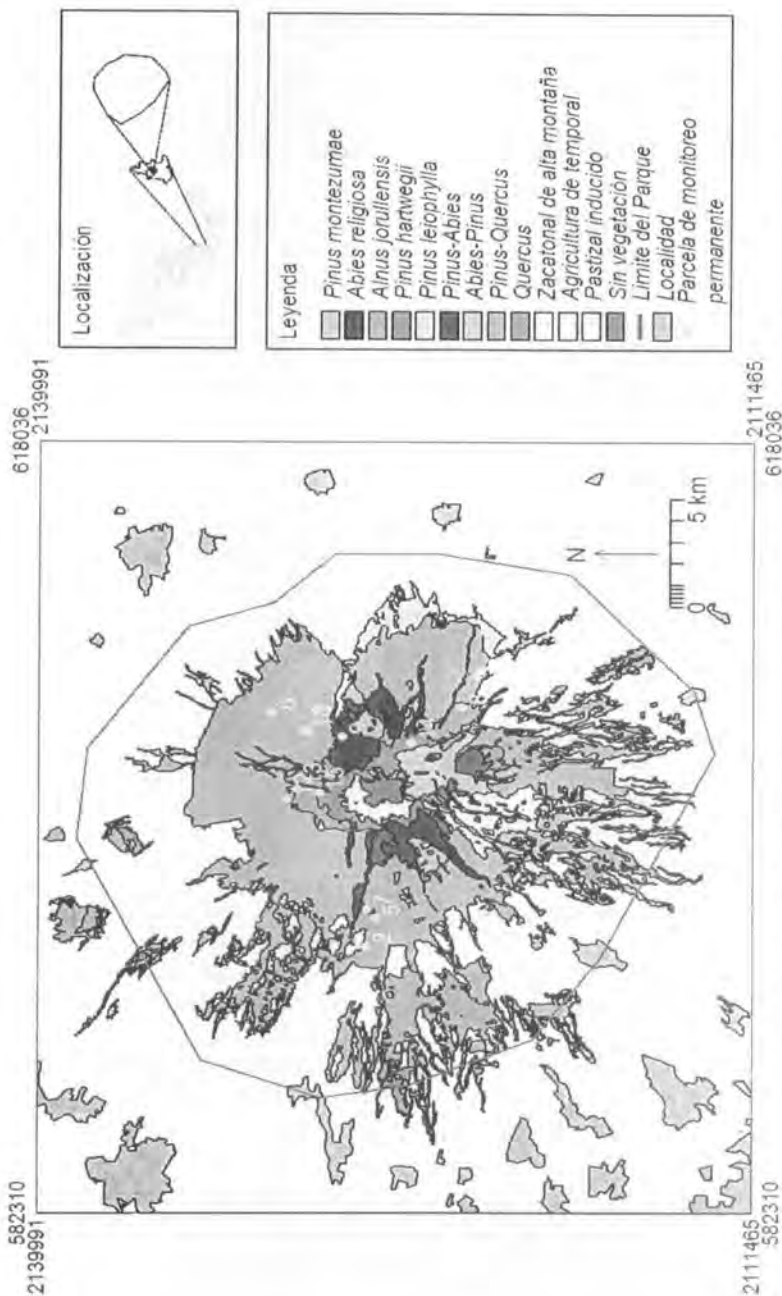
Inicialmente se elaboró un mapa de vegetación para precisar la distribución de las comunidades forestales en el Parque Nacional Malinche (Figura 2), pues en trabajos anteriores (GTP, 2001; Peña del Valle, 2003; López *et al.*, 2005; Wong, 2005; Castillo, 2006) los bosques de *Alnus jorullensis* Kunth. y de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. no habían sido ubicados a nivel espacial.

El área arbolada cubre 20,607 ha de la superficie total del Parque (44.7 %) y las áreas destinadas a la agricultura de temporal ocupan 23,332 ha (50.6 %). El pastizal inducido se localiza, principalmente, en la jurisdicción del estado de Puebla; ahí se advierte también, una reducida extensión de encinares.

Comunidades vegetales

El valor de importancia de las especies se tomó en cuenta para el ajuste en la clasificación de la fotointerpretación, lo que permitió la determinación de diez tipos de asociaciones vegetales, confirmándose con la densidad del arbolado y la dominancia o codominancia de las especies. 1) el bosque dominado por *Pinus montezumae* Lamb., 2) bosque de *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. *et* Cham. 3) bosque de *Alnus jorullensis*, 4) bosque de *Pinus hartwegii* Lindl., 5) bosque de *Pinus leiophylla*, 6) bosque de *Pinus-Abies*, 7) bosque de *Pinus-Quercus*, 8) bosque de *Abies-Pinus*, 9) bosque de *Quercus* y 10) zacatonal de alta montaña (Figura 2).

El bosque de *Pinus montezumae* es el de mayor extensión en el volcán La Malinche, con 12,170 ha, o 59% de la superficie arbolada; por lo tanto, esta especie tuvo el valor de importancia más alto. Por su gran dimensión, ocho de las 15 parcelas de monitoreo permanente (2, 3, 4, 5, 6, 10, 11 y 13), en



Basado en la fotointerpretación de 32 fotografías aéreas pancromáticas del año 2001 a escala 1:25 000, tomadas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno del Estado de Tlaxcala. 17 de agosto de 2007.

Figura 2. Mapa de comunidades vegetales y usos de suelo del Parque Nacional Malinche (se muestra el polígono del límite del parque de acuerdo a la actualización del decreto presidencial).

las que se levantaron los inventarios, se ubicaron dentro de esta comunidad vegetal, que se desarrolla desde los 2800 hasta los 3550 m. Reúne a un conjunto de árboles moderadamente altos (25 m), con un promedio de 264 árboles/ha y generalmente monoespecíficos, aunque en ocasiones coexisten con *P. pseudostrobus* Lindl., *P. teocote* Schltdl. & Cham., *P. patula* Schltdl. & Cham. y *Arbutus xalapensis* Kunth. Como resultado de plantaciones forestales en esta comunidad vegetal están presentes *Cupressus benthamii* Endl., *Salix paradoxa* Kunth y *Crataegus mexicana* Moc. Sessé (Rojas, 2008).

El bosque de *Abies religiosa* destaca por su majestuosidad y belleza; en La Malinche esta comunidad perennifolia crece entre los 2900 y 3700 m, por lo general sobre cañadas, barrancos y pendientes muy pronunciadas, donde es protegida de la acción de los vientos fuertes y de la insolación intensa. Ocupa el 6.6% de la superficie arbolada del Parque Nacional, con 1,366 ha. Los árboles miden 25 m de altura en promedio y se han identificado individuos muy altos, hasta de 50 m. Los suelos a menudo están revestidos casi en su totalidad por musgo. Se presenta en forma monoespecífica o puede coexistir con especies de *Pinus* creando las comunidades *Pinus-Abies* ó *Abies-Pinus* que fueron definidas en la fotointerpretación, nombradas y caracterizadas por los valores de importancia y dominancia de estos géneros en campo. En esta comunidad se ubicaron las parcelas de monitoreo permanente 7 y 9 para realizar los inventarios forestales.

El bosque de *Alnus jorullensis* es una comunidad caducifolia que en La Malinche se observa entre los 3150 y los 3700 m de altitud, y en la que es común la hojarasca abundante; ocupa 3.7% de la superficie arbolada del parque con 756 ha. Aquí se establecieron dos parcelas de monitoreo permanente (8 y 12). Los árboles tienen una altura promedio de 12 m. Pueden encontrarse las asociaciones *Alnus-Pinus* y *Alnus-Quercus*.

El bosque de *Pinus hartwegii* se distribuye en el volcán por arriba de los 3400 m y hasta los 4000 m de altitud y constituye el límite superior arbóreo. Los individuos de *Pinus hartwegii* Lindl. portan una altura promedio de 20 m. En sus niveles bajos está asociado con los bosques de *Alnus jorullensis* y de *Pinus montezumae*. Esta comunidad se distribuye en 657 ha y cubre 3.2% de la superficie arbolada del parque; por lo anterior en esta comunidad se establecieron dos parcelas de monitoreo permanente (14 y 15). Es posible observar pequeños manchones de *Abies religiosa* entremezclados hasta los 3700 m y a partir de esta altitud y hasta los 4000 m se presenta como un bosque monoespecífico.

El bosque de *Pinus leiophylla* en el volcán crece en altitudes entre los 2600 y menores a 2900 m. En la mayoría de los casos se trata de un bosque mixto o bien son áreas en las que se han realizado programas de reforestación con *Pinus leiophylla* mismos que tienen una altura promedio de 22 m. Esta comunidad ocupa 2.5% de la superficie forestal del parque, con 520 ha. Por ello se estableció sólo una parcela de monitoreo permanente (1).

El bosque de *Quercus* es una comunidad vegetal caducifolia que se desarrolla en altitudes entre los 2300 y hasta los 2800 m. En Malinche ocupa 385 ha, que corresponden a 1.9% de la superficie arbolada del parque. Asimismo se observan árboles a la orilla de los caminos y como cercas vivas ya que la agricultura de temporal ha cubierto gran parte de su hábitat. La altura promedio de los encinares es de 5 m, las principales especies son: *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. crassipes* Humb. & Bonpl., *Q. dysophylla* Benth. y *Q. laurina* Bonpl., que pueden formar asociaciones mixtas de *Quercus-Pinus* y *Pinus-Quercus* (Villers *et al.*, 2006).

El zacatonal de alta montaña que comprende individuos de *Festuca tolucensis* Kunth, *Gnaphalium lavandulaceum* DC y *Senecio roseus* Sch. Bip. es una comunidad vegetal por encima del límite de vegetación arbórea, donde la disponibilidad de agua para las plantas está restringida ya que es una zona de heladas frecuentes. En el volcán la Malinche esta comunidad está establecida a partir de los 3900 y hasta alrededor de los 4300 m, en 306 ha, aproximadamente. El único elemento arbóreo que se puede encontrar es *Juniperus monticola* Martínez que crece en forma rastrera y de matorral (Villers *et al.*, 2006).

Estimación de la biomasa aérea

Para hacer el cálculo general de biomasa por comunidad se tomaron como referencia los inventarios de las 15 parcelas de monitoreo permanente establecidas en las asociaciones vegetales descritas de la Malinche (inventarios obtenidos en campo como sugieren Brown, 1997; Schroeder *et al.*, 1997 y Homann *et al.*, 2005). Las especies arbóreas de cada parcela, la densidad de individuos, la dominancia y el valor de importancia escalado a 100% se reúnen en el Cuadro 1.

En total se inventariaron 4,411 árboles y de este modo se confirmó que *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis* registraron los máximos valores de dominancia, frecuencia e importancia en los sitios estudiados. Estas especies tienen una amplia distribución en los Parques Nacionales a lo largo del Eje Neovolcánico Transmexicano y que a su vez cuentan con un programa de manejo publicado (Gobierno del Estado de Jalisco y CONANP, 2006; Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y CONANP, 2008).

Quercus sólo se identificó en dos parcelas de monitoreo permanente. Existen mecanismos de hibridación interespecífica en este género (Valencia, 2004), por lo que fue difícil distinguir entre especies durante el levantamiento del inventario forestal. *Arbutus xalapensis*, *Cupressus benthamii*, *Salix paradoxa*, *Crataegus mexicana* y *Casuarina* sp. se registraron durante el inventario, pero fueron poco representativas en cuanto a densidad y dominancia, por lo que no se contemplaron para la evaluación de biomasa almacenada en el Parque.

Cuadro 1. Composición de las parcelas de monitoreo permanente ubicadas en el Parque Nacional Malinche.

Parcela (1ha)	Comunidad vegetal	Altitud (m)	Especies arbóreas	Densidad (No. de árboles/ha)	Dominancia (m ² /ha)	Valor de importancia escalado a 100%
1	<i>Pinus leiophylla</i>	2851	<i>Pinus leiophylla</i>	89	21.59	59.46
			<i>Quercus</i> sp.	210	0.90	40.54
2	<i>Pinus montezumae</i>	2905	<i>Pinus montezumae</i>	278	19.51	96.50
			<i>Cupressus benthamii</i>	4	0.00	3.50
3	<i>Pinus montezumae</i>	2984	<i>Pinus montezumae</i>	166	27.16	58.43
			<i>Alnus jorullensis</i>	234	4.27	41.57
4	<i>Pinus montezumae</i>	3017	<i>Pinus montezumae</i>	170	34.05	72.27
			<i>Alnus jorullensis</i>	54	2.19	25.85
			<i>Salix paradoxa</i>	2	0.00	1.88
5	<i>Pinus montezumae</i>	3050	<i>Pinus montezumae</i>	212	17.83	61.38
			<i>Quercus</i> sp.	28	1.05	11.66
			<i>Salix paradoxa</i>	16	0.76	8.87

continuación...

continuación Cuadro 1...

Parcela (1ha)	Comunidad vegetal	Altitud (m)	Especies arbóreas	Densidad (No. de árboles/ha)	Dominancia (m ² /ha)	Valor de importancia escalado a 100%
5		3050	<i>Abies religiosa</i>	20	0.75	6.37
			<i>Alnus jorullensis</i>	6	1.25	5.55
			<i>Arbutus xalapensis</i>	10	0.01	5.07
			<i>Crataegus mexicana</i>	1	0.00	1.10
6	<i>Pinus montezumae</i>	3106	<i>Pinus montezumae</i>	122	15.74	100
7	<i>Abies religiosa</i>	3128	<i>Abies religiosa</i>	191	12.06	68.69
			<i>Pinus montezumae</i>	21	2.08	16.34
			<i>Arbutus xalapensis</i>	23	0.69	14.97
8	<i>Alnus jorullensis</i>	3206	<i>Alnus jorullensis</i>	187	15.45	54.75
			<i>Pinus montezumae</i>	87	18.12	45.25
9	<i>Abies religiosa</i>	3300	<i>Abies religiosa</i>	866	38.58	85.48
			<i>Pinus montezumae</i>	19	1.58	14.52

continuación...

continuación Cuadro 1...

Parcela (1ha)	Comunidad vegetal	Altitud (m)	Especies arbóreas	Densidad (No. de árboles/ha)	Dominancia (m ² /ha)	Valor de importancia escalado a 100%
10	<i>Pinus montezumae</i>	3307	<i>Pinus montezumae</i>	142	24.07	100
11	<i>Pinus montezumae</i>	3320	<i>Pinus montezumae</i>	213	26.64	56.66
			<i>Alnus jorullensis</i>	142	16.89	41.00
			<i>Casuarina</i> sp.	4	0.40	2.34
12	<i>Alnus jorullensis</i>	3371	<i>Alnus jorullensis</i>	201	41.33	65.85
			<i>Pinus montezumae</i>	82	7.95	29.43
			<i>Crataegus mexicana</i>	2	0.03	3.15
			<i>Abies religiosa</i>	1	0.00	1.57
13	<i>Pinus montezumae</i>	3440	<i>Pinus montezumae</i>	179	17.50	91.45
			<i>Alnus jorullensis</i>	3	0.06	5.78
			<i>Abies religiosa</i>	1	0.01	2.76
14	<i>Pinus hartwegii</i>	3660	<i>Pinus hartwegii</i>	105	20.76	100
15	<i>Pinus hartwegii</i>	3700	<i>Pinus hartwegii</i>	320	23.27	100

Los datos de DAP por especie se ordenaron en diez categorías (intervalos de 12 cm), y se obtuvieron las gráficas de la frecuencia por categoría para las cinco especies seleccionadas (Figura 3). Para *Pinus montezumae* y *P. hartwegii* se observa un número alto de individuos de DAP pequeños. La curva de *Abies religiosa* muestra una tendencia cargada a la izquierda, donde en la clase I se registraron 732 individuos. Rojas (2004) realizó el conteo de los anillos de crecimiento y refiere que los individuos de la clase I (0.1-12 cm) corresponden a árboles juveniles, que van desde plántulas hasta individuos de máxime 10 años de edad, resultado del reclutamiento natural.

La curva de *Pinus leiophylla* reúne a la mayor parte de sus individuos en las clases V y VI (entre 48 y 72 cm). En el caso de *Alnus jorullensis* un gran número de individuos pertenecen a las primeras tres categorías diamétricas.

Densidad básica de la madera

Se determinó la densidad de la madera de cinco especies nativas con un método sencillo y riguroso que puede ser replicable fácilmente tomando núcleos (Cuadro 2). A partir de los valores de 0.29 a 0.51 (g/cm³) se catalogó la madera de cada especie en la clasificación de Markwar y Meck (Echenique y Díaz, 1972).

Cuadro 2. Densidad básica de la madera de cinco especies de amplia distribución en el Parque Nacional Malinche.

Especie	Número de núcleos de madera	Densidad básica (g/cm ³)	Desviación estándar	Clasificación de la madera según Markwar y Meck
<i>Pinus montezumae</i>	83	0.5115	± 0.034	pesada
<i>Pinus hartwegii</i>	22	0.4965	± 0.045	moderadamente pesada
<i>Pinus leiophylla</i>	10	0.4856	± 0.042	moderadamente pesada
<i>Abies religiosa</i>	22	0.3874	± 0.066	moderadamente liviana
<i>Alnus jorullensis</i>	20	0.2898	± 0.093	muy liviana

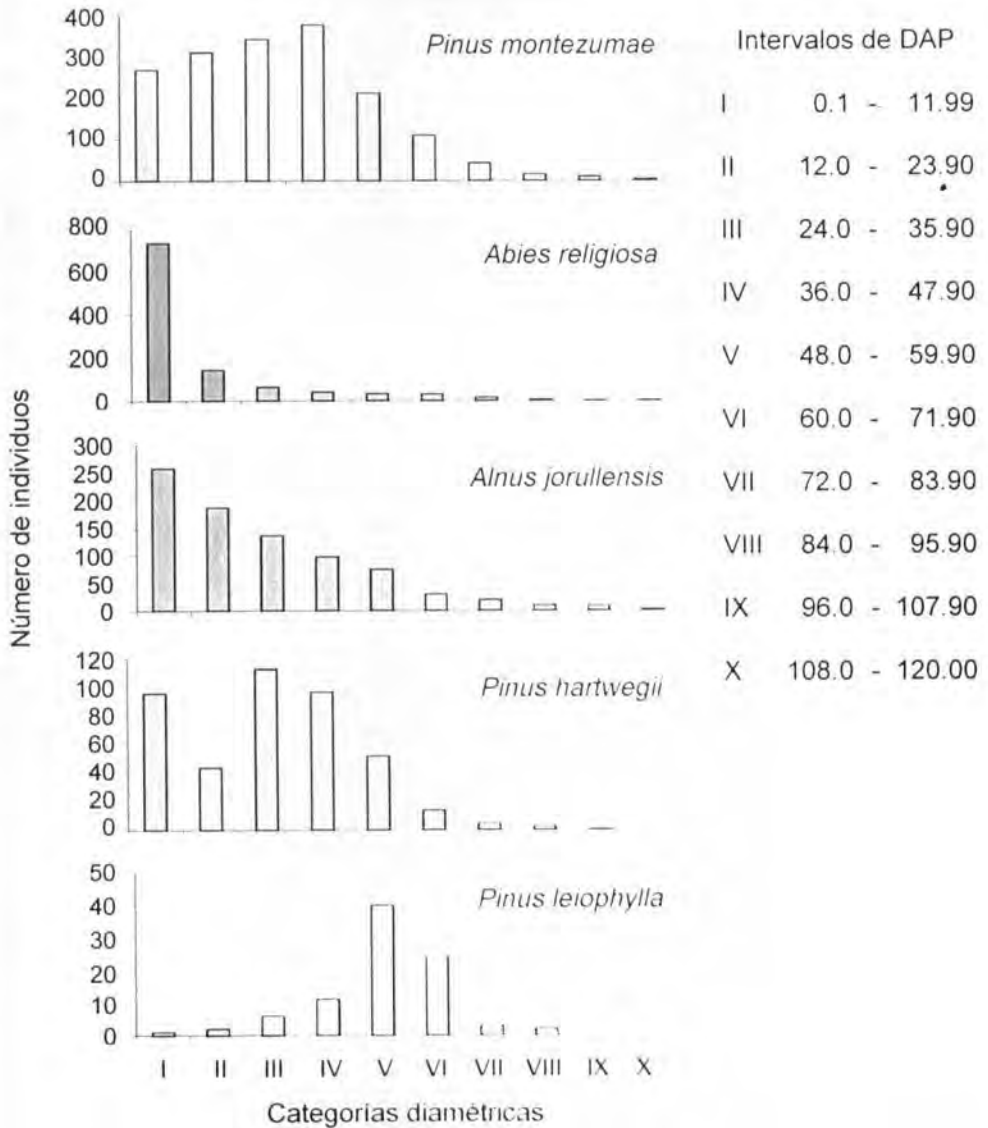


Figura 3. Individuos de cada especie por categoría diamétrica, de acuerdo al inventario de las parcelas de monitoreo permanente del Parque Nacional Malinche.

Se reconocieron diferencias entre ellas, incluso las pertenecientes a un mismo género. Por ejemplo hasta hace algunos años se utilizaba el valor de densidad para *Pinus* estimado en 0.500 g/cm^3 , no obstante se ha establecido la densidad de varias especies, lo que da una mayor certidumbre a trabajos relacionados con biomasa (Rojas y Villers, 2005).

En este caso se determinó la densidad de *Pinus montezumae* en 0.5115 g/cm^3 , de *P. hartwegii* en 0.4965 g/cm^3 y la de *P. leiophylla* en 0.4856 g/cm^3 . De no haberse realizado el cálculo de la densidad para las tres especies y de haberse usado el valor genérico, el monto final de biomasa por comunidad se hubiera sobreestimado para el caso de las especies de madera moderadamente pesada y subestimado para la primera especie.

Biomasa

Con los valores de densidad básica de las cinco especies y los datos estructurales se pudo estimar la biomasa según la composición de las parcelas de monitoreo permanente (Cuadro 3). Para la estimación de biomasa por comunidad vegetal fue necesario incluir el valor de densidad básica de la madera del género *Quercus*, por ello se utilizó el valor 0.6800 g/cm^3 obtenido por Nájera *et al.* (2005).

La comunidad de *Pinus montezumae* muestra diferencias en la biomasa estimada que va desde $163,51 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 6) hasta $480,97 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 11). Estas variaciones están en función de la densidad de los individuos, la composición de los sitios inventariados, la elevación altitudinal (Cuadro 1), las tallas y edades ya que no son comunidades coetáneas y finalmente las actividades antrópicas influyeron en estas diferencias. Por lo anterior, para obtener un valor de la comunidad tipo se promediaron todas las parcelas de *Pinus montezumae*.

En la comunidad de *Abies religiosa* dichos valores se distribuyen en un intervalo de $134,62 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 7) a $396,50 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 9), que se explica por las diferencias en la densidad arbórea y el DAP de los individuos de las dos parcelas de monitoreo permanente (Cuadro 1).

Para la comunidad de *Alnus jorullensis* la estimación de biomasa es más semejante entre las parcelas y va desde $286,73 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 8) a $292,39 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 12), y en las dos parcelas de monitoreo permanente de esta comunidad también fue similar la densidad forestal. Cabe señalar que la parcela 8 fue designada como comunidad de *Alnus jorullensis* debido a que presentó un mayor valor de importancia, pero al realizar la evaluación *Pinus montezumae* tuvo un valor mayor de biomasa.

En la comunidad de *Pinus hartwegii* los valores estimados de biomasa son similares entre las parcelas; van de $214,94 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 15) a $233,61 \text{ t ha}^{-1}$

Cuadro 3. Estimación de la biomasa en las parcelas de monitoreo permanente.

Parcela (1 ha)	Especie	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
1	<i>Pinus leiophylla</i>	375.73	237.19
	<i>Quercus</i>	3.22	2.09
	Total	378.96	239.29
2	<i>Pinus montezumae</i>	267.01	178.94
3	<i>Pinus montezumae</i>	414.82	277.99
	<i>Alnus jorullensis</i>	37.78	14.23
	Total	452.59	292.22
4	<i>Pinus montezumae</i>	570.44	382.28
	<i>Alnus jorullensis</i>	14.34	5.40
	Total	584.77	387.68
5	<i>Pinus montezumae</i>	267.24	179.09
	<i>Abies religiosa</i>	18.38	9.26
	<i>Quercus</i>	8.67	7.66
	<i>Alnus jorullensis</i>	16.73	6.30
	Total	311.01	202.31
6	<i>Pinus montezumae</i>	243.99	163.51
7	<i>Abies religiosa</i>	221.60	111.60
	<i>Pinus montezumae</i>	34.34	23.01
	Total	255.94	134.62

continúa...

Parcela (1 ha)	Especie	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
8	<i>Alnus jorullensis</i>	164.05	61.81
	<i>Pinus montezumae</i>	335.64	224.93
	Total	499.69	286.73
9	<i>Abies religiosa</i>	743.19	374.29
	<i>Pinus montezumae</i>	33.14	22.21
	Total	776.34	396.50
10	<i>Pinus montezumae</i>	402.52	269.75
11	<i>Pinus montezumae</i>	509.84	341.67
	<i>Alnus jorullensis</i>	207.86	139.30
	Total	717.70	480.97
12	<i>Alnus jorullensis</i>	532.75	200.71
	<i>Pinus montezumae</i>	136.78	91.67
	<i>Abies religiosa</i>	0.02	0.01
	Total	669.56	292.39
13	<i>Abies religiosa</i>	0.05	0.03
	<i>Alnus jorullensis</i>	0.35	0.13
	<i>Pinus montezumae</i>	263.07	176.30
	Total	263.48	176.46
14	<i>Pinus hartwegii</i>	361.93	233.61
15	<i>Pinus hartwegii</i>	333.01	214.94

(parcela 14), pero la densidad de los individuos y las tallas de los árboles son diferentes. En la parcela 14 son menos individuos pero de tallas más grandes que en la 15, por lo que se puede pensar que existe una compensación entre la densidad de individuos y las tallas (DAP) de los mismos (Cuadro 1).

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 se muestra el nombre de cada una de ellas, la biomasa que correspondería a una hectárea tipo, su desviación estándar y coeficiente de variación, la superficie evaluada mediante fotointerpretación y cuantificada con el SIG (ILWIS) y la biomasa total estimada para cada una, así como para las de masas mezcladas que se determinaron por fotointerpretación. La territorio forestal del Parque Nacional Malinche es de 20,607 ha donde se almacenan 4,900,505 t de biomasa arbórea.

Este estudio tiene las limitaciones que impone la heterogeneidad de sitios. Para la estimación del monto final de biomasa por comunidad, se utilizó el valor promedio de las parcelas y se recalculó según la composición vegetal y la superficie en hectáreas de cada comunidad fotointerpretada. Para la de *Pinus montezumae* se consideró el promedio de los resultados de ocho parcelas de 268.02 t con un coeficiente de variación de ± 29.9 . Para el resto de las comunidades resulta necesario a futuro aumentar el número de parcelas para abarcar diferentes condiciones por comunidad.

El bosque de *Pinus montezumae* alberga la mayor biomasa aérea en el Parque Nacional (3,172,314 t), debido a su amplia distribución en el volcán, a lo que habría que agregarse las tallas grandes del arbolado que lo conforman, tanto en rodales monoespecíficos como en asociaciones con *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis* u otras especies de *Pinus*.

En la comunidad de *Abies religiosa* también se registraron altos valores de biomasa, a pesar de que la madera de esta especie es moderadamente liviana.

La comunidad de *Alnus jorullensis* incorpora valores significativos de biomasa. Aún cuando madera de esta especie también es muy liviana, los árboles alcanzan grandes tallas al igual que las especies forestales asociadas. Se identifican dos estratos arbóreos, el menor representado por *Alnus jorullensis*, con DAP muy anchos, y el estrato arbóreo mayor conformado por *Pinus* spp. con menores diámetros pero con alturas mayores.

La comunidad de *Pinus hartwegii* está bastante bien conservada, lo que se tradujo en un alto valor de biomasa, que resulta, además de su gran cobertura territorial y de que su madera es moderadamente pesada. Este valor puede aumentar en el mediano plazo si se mantienen las condiciones actuales y si la numerosa población de individuos jóvenes de este bosque que crece en la ladera Norte del volcán, logra llegar a la madurez a pesar de las inclemencias climáticas características de la alta montaña.

La comunidad de *Pinus leiophylla* reúne una menor biomasa, por su distribución en el Parque, y porque su madera es moderadamente pesada. Justo en las áreas donde se desarrolla esta especie de forma natural, o donde se han realizado plantaciones con ella, el bosque está bajo constante influencia humana, debido a que los pobladores locales recogen leña y aplican quemas en áreas agrícolas colindantes con los terrenos forestales y dentro de éstas, para promover el renuevo de los pastos y llevar a pastar ahí a sus hatos de ganado ovino y caprino.

La comunidad de *Quercus* spp. está muy deteriorada y su extensión se reduce a 384.92 ha, en la que predominan árboles juveniles.

Los valores estimados de biomasa en el Parque Nacional Malinche por comunidad vegetal mostraron una gran variación. Las diferencias estuvieron en función de la composición vegetal, la talla, la estructura del arbolado y de la densidad forestal como lo sugieren Patenaude *et al.* (2003).

La magnitud de almacenamiento de biomasa de La Malinche es muy importante, condición que puede alterarse a corto plazo debido a que en el Parque se practica tala ilegal para extracción de madera, principalmente en la zona Oeste y Suroeste, en particular en predios colindantes con el estado de Puebla. Muchas veces la corta se realiza en el territorio de Tlaxcala y sale de forma ilícita por Puebla.

En algunos predios se recolecta leña de forma intensiva, lo que en ocasiones encubre el derribo de árboles sanos, o bien se hace ocoteo de los árboles en los caminos principales. Estas tácticas se han utilizado por muchos años en las ANP del país, por lo que es necesario ofrecer alternativas viables para las localidades que hacen uso de los recursos del Parque, de modo que reemplacen las actividades descritas y observar congruencia con la categoría actual que ostenta de Área Natural Protegida (ANP).

CONCLUSIONES

El Parque Nacional Malinche almacena 4,881,685 t de biomasa en sus 20,607 ha con uso de suelo forestal.

Las estimaciones de este estudio se apegan a los lineamientos del Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-152-SEMARNAT-2006 (SEMARNAT, 2007). Por ello los métodos utilizados en este estudio se pueden aplicar en otras ANP del país y si se parte de los mismos supuestos, también sirven para proyectos forestales en predios ejidales, comunitarios o privados.

En este sentido se recomienda el uso de las ecuaciones volumétricas para cuantificar la biomasa arbórea de un sitio, pues en la mayoría de los predios forestales se cuenta con inventarios que incluyen el volumen comercial o tablas de volumen de existencias reales de madera. Además es una metodología sencilla, confiable, rápidamente ejecutable y económica.

Debido a que se requiere el valor de la densidad básica de la madera por especie, los valores para las cinco especies descritas en este trabajo pueden ser utilizados para futuras evaluaciones de biomasa de las comunidades vegetales en la Cordillera Neovolcánica Transmexicana.

Los resultados de este trabajo son una aportación para la construcción de líneas base y escenarios en proyectos de conservación para la compra-venta de C a corto y mediano plazo.

AGRACEDIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del proyecto 52464.

REFERENCIAS

- Acosta, M., J. Vargas, A. Velásquez y J. Etchevers. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36 (6):725-736.
- Ayala, C. 1995. Identificación de dos especies arbóreas de clima templado frío mediante patrones de fotointerpretación. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, México. 97 p.
- Bautista J. y J. Torres. 2003. Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del Ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. *Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente* 9 (1): 69-75.
- Brown, S. and A. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223 (4642): 1290-1293.
- Brown, S., A. Gillespie and A. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.
- Brown, S. 1996. Mitigation potential of carbon dioxide emissions by management of forests in Asia. *Ambio* 25 : 273-278.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A Forest Resources Assessment Publication. FAO, Rome, Italy. 55 p.
- Caballero, M. 1982. Empleo de coeficientes mórficos en la elaboración de tablas de volúmenes de cedro rojo. *Boletín Divulgativo* No. 26 B, abril 1982. 2ª ed. INIF-SARH, México. 27 p.
- Castañeda, A., J. Vargas, A. Gómez, J. Valdez y H. Vaquera. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bumelia oldhamii*. *Agrociencia* 39(1): 107-116.
- Castillo, M. 2006. Delimitación de unidades ambientales biofísicas en el Volcán La Malinche con base en el análisis de unidades morfogénicas. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México. 135 p.

- Castro, R. 2007. Historia eruptiva del volcán La Malinche y estudio del emplazamiento del flujo piroclástico pilares superior. Tesis de Doctorado. Instituto de Geofísica, UNAM. México. 158 p.
- Castro, R. and C. Siebe. 2007. Late Pleistocene-Holocene stratigraphy and radiocarbon dating of La Malinche volcano, Central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 162: 20-42.
- Catchpole, W. and J. Wheeler. 1992. Estimating plant biomass: A review of techniques. *Australian Journal of Ecology* 17: 121-131.
- Chidiak, M., A. Moreyra y C. Greco. 2004. Captura de carbono y desarrollo forestal sostenible en la Patagonia Argentina: Sinergias y Desafíos. Banco Interamericano de Desarrollo-Departamento de Desarrollo Sostenible-División de Medio Ambiente. 88 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2007. Acuerdo por el que se expiden las Reglas de Operación del Programa Pro-Árbol de la Comisión Nacional Forestal. 28 de diciembre de 2007. Diario Oficial de la Federación. México, Distrito Federal. 3ª Sección, pp. 1-39.
- Deans, J., J. Mora and J. Grace. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semideciduous tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 88: 215-225.
- De Jong, B., G. Montoya, K. Nelson, L. Soto and R. Tipper. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, México. *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Echenique, R. y G. Díaz. 1972. Algunas características tecnológicas de la madera de 11 especies mexicanas. *Boletín Técnico Núm. 27*. INIF, México. 71 p.
- Escandón, J., B. de Jong, S. Ochoa, I. March y M. Castillo. 1999. Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos Landsat TM en Jusnabaj La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. *Investigaciones Geográficas* (40): 71-84.
- Fragoso, P. 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio Cerro Grande municipio de Tancitaro Michoacán, México. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología Presidente Benito Juárez. Uruapan, Mich. México. 65 p.
- Fukuda, M., T. Iehara and M. Matsumoto. 2003. Carbon stock estimates for sugi hinoki forests in Japan. *Forest Ecology and Management* 184: 1-16.
- García, E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM, México. 246p.
- Garzuglia, M. and M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass. FAO. Rome, Italy. 30 p.

- Gayoso, J., J. Guerra y D. Alarcón. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF. 157 p.
- Gómez, G. 2002. Descripción de las comunidades de aves del volcán Malinche, Tlaxcala. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 160 p.
- Grijpma, P. 2001. Producción forestal. Secretaría de Educación Pública. Editorial Trillas, S.A. de C.V. 4ª Reimpresión. México, D. F. México. 134 p.
- Gobiernos de Tlaxcala y Puebla (GTP). 2001. Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche. Documento de trabajo. 98 p.
- Gutiérrez, G. 2004. Análisis dendrocronológico y económico de *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis*, y *Pinus teocote* en la Sierra de Peña Nevada, Nuevo León. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. México. 102 p.
- Homann, P., M. Harmon, S. Remillard and E. Smithwick. 2005. What the soil reveals: Potential total ecosystem C stores of the Pacific Northwest region, USA. *Forest Ecology and Management* 220: 270-283.
- Hoover, C., R. Birdsey, L. Heath and S. Stout. 2000. How to estimate carbon sequestration on small forest tracts. *Journal of Forestry* 98(9): 13-19.
- Houghton, R. A. 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. *Tellus* 55B: 378-390.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Resumen para Responsables de Políticas. In: M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C. E. Hanson (Eds.) Cambio Climático. Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del PICC., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 116 p.
- Jaramillo, V., J. Boone, L. Rentería R., D. Cummins and L. Ellingson. 2003. Biomass, carbon and nitrogen pool in Mexican tropical dry landscapes. *Ecosystems* 6: 609-629.
- Kent, M. y P. Coker. 1992. Vegetation description and analysis, a practical Approach, John Wiley & Sons Co. New York, NY. USA. 363 p.
- Ketterings, Q. M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau and C. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209.
- Lim, M. T. 1988. Studies on *Acacia mangium* in Kemasul, Malaysia. Biomass and productivity. *Journal of Tropical Ecology* 4: 293-302.
- López, D., L. Soto, G. Jiménez y S. Hernández. 2003. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmifolia* en dos comunidades del norte de Chiapas, México. *Interciencia* 28(6): 334-339.

- López, J., R. Acosta y A. Alonso. 2005. Plantas. In: Fernández, J. y J. López (Comps.). 2005. Biodiversidad del Parque Nacional Malinche, Tlaxcala, México. Coordinación General de Ecología del Estado de Tlaxcala. pp. 73-99.
- Löwe, H., Seufert, G. and F. Raes. 2000. Comparison of methods used within the member states for estimating CO₂ emissions and sinks according to UNFCCC and EU monitoring mechanisms: forest and other wooded land. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 4: 315-319.
- Masera, O., M. Ordóñez and R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long terms scenarios. *Climate Change* 35: 265-295.
- Monroy, C. y J. Návar. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2): 29-43.
- Nájera, J., A. Zacarias, J. Méndez y J. Graciano. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 1 (3): 559-576.
- Ordóñez, J., B. De Jong y O. Masera. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7 (2): 27-47.
- Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2008. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl-Zoquiapan. Documento de trabajo. 172 p.
- Patenaude, G. L., B. D. J. Briggs, R. Milne, C. S. Rowland, T. P. Dawson and S. N. Pryor. 2003. The carbon pool in a British semi-natural woodland. *Forestry* 75 (5): 109-119.
- Peña del Valle, A. 2003. Captura de carbono: un estudio en el Parque Nacional Malinche, Tlaxcala-Puebla. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México. 85 p.
- Pineda, M., G. Ortiz y L. Sánchez. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2): 3-14.
- Rodríguez, R., J. Jiménez, O. Aguirre y E. Treviño. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL* 9 (2): 179-188.
- Rojas, F. 2004. Contenido y captura potencial de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 68 p.
- Rojas, F. 2008. Consideraciones para el balance de carbono: evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche. Tesis de Maestría. Instituto de Geología, UNAM. México. 70 p.

- Rojas, F. y L. Villers. 2005. Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del Volcán La Malinche. *Madera y Bosques* 11(1): 63-71.
- Royo, G., J. Jasso y A. Velásquez. 2003. Las masas forestales como sumideros de CO₂ ante un Cambio Climático Global. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1): 57-67.
- Royo, G., J. Jasso, J. Vargas, D. Palma y A. Velásquez. 2005. Biomasa aérea en plantaciones forestales de hule (*Hevea brasiliensis* Mull. Erg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39(4): 449-456.
- Schlegel, B., J. Gayoso y J. Guerra. 2000. Manual de procedimientos: muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF. 26 p.
- Schroeder, P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey and C. Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science* 43 (3): 424-434.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno del Estado de Tlaxcala (SECODUVI). 2001. 32 Fotografías aéreas pancromáticas del año 2001 a escala 1:25, 000, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-152-SEMARNAT-2006, que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 9 de mayo. pp. 80-99.
- Teller, A. 1988. Biomass, Productivity and wood waste evaluation in Spruce (*Picea abies*) Forest (Strinchmps 983). *Commonwealth Forestry Review* 7 (2): 129-148.
- Vaccaro, S., M. Arturi, J. Goya, J. Frangi y G. Piccolo. 2003. Almacenaje de carbono en estadios de la sucesión secundaria en la Provincia de Misiones, Argentina. *Interciencia* 28(9):521-527.
- Valencia, S. y J. Vargas. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1): 81-87.
- Valencia, S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 33-53.
- Vallet, P., J. Dhôte, G. Le Moguédec, M. Ravart and G. Pignard. 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. *Forest Ecology and Management* 229: 98-110.
- Van Camp, N., I. Vande Walle, J. Mertens, S. De Neve, R. Samson, N. Lust, R. Lemeur, P. Boeckx, P. Lootens, D. Beheydt, I. Mestdagh, S. Sleutel, H. Verbeeck, O. Van Cleemput, G. Hofman and L. Carlier. 2004. Inventory based carbon stock of Flemish forests: a comparison of European biomass expansion factors. *Annals of Forest Science* 61: 677-682.

- Villers, L., F. Rojas y P. Tenorio. 2006. Guía botánica del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México: Centro de Ciencias de la Atmósfera- Instituto de Biología. 196 p.
- Wong, J. 2005. Humedad de los combustibles leñosos y su relación con variables atmosféricas. Su importancia en los incendios forestales en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 66 p.
- Zamora, J. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido la Majada municipio de Periban de Ramos, Michoacán. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología Presidente Benito Juárez. Uruapan, Mich. México. 48 p.

EL FUTURO DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO COMO ORIENTACIÓN ESTRATÉGICA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Georgel Moctezuma López¹, José Antonio Espinosa García²,
Alfredo Cruz Tapia Naranjo³ y Mario Alberto Guerrero González⁴

RESUMEN

Uno de los temas abordados en el proyecto latinoamericano *Quo Vadis* es la sostenibilidad, bajo la premisa de que en los años recientes, la presión de la sociedad a favor de un ambiente saludable ha creado nuevos desafíos para las actividades agropecuarias y forestales y, consecuentemente, para la investigación, con el reto de hacer una agricultura competitiva, capaz de aportar productos de buena calidad y a precios accesibles para los consumidores, sin dañar a los ecosistemas. Se revisaron temas afines en un escenario futuro de tipo tendencial, considerando que las condiciones económicas, políticas, sociales y tecnológicas actuales prevalecerán. Se analizó la importancia, el dominio actual y la necesidad de conocimientos para el desarrollo de la sostenibilidad ambiental como objetivo de la innovación institucional de los organismos dedicados a la investigación forestal, agrícola y pecuaria. Los resultados del presente trabajo se obtuvieron de las respuestas de 58 expertos pertenecientes a 22 instituciones educativas, financiadoras, de investigación, dependencias gubernamentales y empresas privadas, al cuestionario integrado por 36 preguntas que abarcaban 13 temas; algunas de ellas no lograron consenso, por lo cual se requiere mayor análisis, valoración y discusión. Los tópicos en los que se determinó que se requiere atender en el futuro fueron: "Explotación económica sostenible de la biodiversidad" y "Conocimiento tradicional sobre la biodiversidad".

Palabras clave: Dimensión ambiental, investigación agropecuaria, investigación forestal, sector público, sostenibilidad, vulnerabilidad.

Fecha de recepción: 16 de enero de 2007.

Fecha de aceptación: 27 de octubre de 2008.

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

² Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal, INIFAP.

³ Dirección de Coordinación y Vinculación del Estado de Hidalgo, Centro de Investigación Regional Centro, INIFAP.

⁴ Coordinación de Planeación y Desarrollo. Oficinas Centrales, INIFAP.

ABSTRACT

Sustainability was one of the topics considered in the Latin American *Quo Vadis* project, based upon the premise that, in recent years, the pressure of society to attain a healthy environment has created new challenges for agriculture, cattle production and forest activities, and thus, for research. The challenge in this new condition is to achieve a competitive agriculture, and generate good quality products at accessible prices for consumers, without harming the ecosystems. Similar themes were reviewed in a future scenario of tendency type, considering the economic, political, social and technological conditions. The importance, present status and the need for knowledge to achieve environmental sustainability as an objective for institutional innovation in the agencies focused on agriculture, cattle production and forest research were analyzed. The results of this project were obtained from 58 experts that belong to 22 educational, financial, research and governmental institutions, as well as private enterprises. The survey was conformed by 36 questions that refer to 13 topics; however, some of them were not consensed and they need a broader analysis, assessment and discussions. It was determined that the topics which will need future attention are: "Sustainable economic exploitation of biodiversity" and "Traditional knowledge of biodiversity".

Keywords: Environmental dimension, agriculture and livestock scientific research, forestry research, public sector, sustainability, vulnerability.

INTRODUCCIÓN

En el proyecto *Quo Vadis: El Futuro de la Investigación Agrícola y la Innovación Institucional en América Latina y El Caribe* participaron equipos multidisciplinarios integrados por especialistas de las instituciones y organismos dedicados a la investigación agropecuaria y forestal de: Brasil, Cuba, México, Panamá, Perú y Venezuela. El objetivo del proyecto fue identificar y evaluar las variables relevantes, del contexto internacional y del sistema agroalimentario mundial, que impactan el desempeño actual y futuro (2015) de las organizaciones de investigación agropecuaria y forestal de México, para proponer estrategias generales en apoyo a la sostenibilidad ambiental (Saldaña *et al.*, 2006).

Un tema emergente para todas las organizaciones en la especialidad indicada es, precisamente, la sostenibilidad ambiental. Cada día hay mayor preocupación de la sociedad por un medio saludable, lo cual plantea nuevos desafíos para las actividades sectoriales, y en consecuencia, para la investigación científica. El reto es lograr una agricultura competitiva, capaz de aportar productos de buena calidad y a precios accesibles para los consumidores, sin dañar al suelo, agua, aire, flora y fauna. Además, como las inversiones en investigación a este respecto y con el funcionamiento de los ecosistemas no ofrecen resultados lucrativos; estos temas

prácticamente son poco atractivos para las organizaciones privadas. Por ello, es deseable que en el futuro se destinen recursos públicos para generar conocimientos sobre el particular, pero, dado la amplitud de su significado, se requiere identificar cuáles temas deberán ser estudiados.

Ante el interés y reclamo de la sociedad por la falta de atención y solución a los problemas ambientales, en su informe de la situación del medio ambiente en México, SEMARNAT (2002) refiere que el gobierno se enfrentó a la falta de conocimiento e información sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas naturales que permitieran realizar evaluaciones objetivas, no sólo de los factores que ejercen presión sobre ellos, sino también de su respuesta a las acciones encaminadas a revertir su deterioro.

En 1993, el Instituto Nacional de Ecología (INE, 1993) señalaba entonces que el problema ambiental se concentraba en las grandes zonas urbanas, como por ejemplo en la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara, Toluca, Puebla y municipios conurbados y sus efectos en los ecosistemas convergentes.

Por otro lado, en las comunidades rurales, el Secretariado Técnico del Consejo Consultivo del PRONASOL (Programa Nacional de Solidaridad) reconoció a la migración como un grave problema ocasionado por la pobreza y la pobreza extrema en la que viven millones de mexicanos ubicados en zonas áridas y semiáridas y en comunidades indígenas en donde sus condiciones de vida son sumamente precarias.

Otros problemas ambientales identificados son la erosión de suelos, la escasez de agua, la pérdida de la biodiversidad, la deforestación desmedida, la contaminación industrial y el acelerado crecimiento de las áreas urbanas.

Con base en lo anterior es de gran utilidad un estudio prospectivo sobre la dimensión ambiental, porque la humanidad experimenta cambios importantes desde los años 60's (de Souza *et al.*, 2001), cuyos efectos repercuten en los recursos naturales, así como por el hecho de que no habrá desarrollo sostenible sin instituciones de investigación y desarrollo sostenible, entre ellas las forestales. En una época de grandes cambios como la actual, los individuos, las instituciones y la sociedad en general son vulnerables y su sostenibilidad institucional se ve amenazada (Gomes *et al.*, 2005), en particular en aquellos países que han sido clasificados como del Tercer Mundo, subdesarrollados o emergentes, después de la Segunda Guerra Mundial en donde los Estados Unidos de América cambian el binomio civilizado-primitivo por el de desarrollado-subdesarrollado (Álvarez *et al.*, 2005).

El objetivo del presente estudio fue generar conocimientos que permitan comprender de cuáles factores del ecosistema dependerá la sostenibilidad ambiental para ser abordados por las instituciones de investigación y desarrollo agrícola, pecuario y forestal, así como plantear estrategias para fortalecer las

capacidades de estas instituciones en materia ambiental. Para ello se analizaron varios aspectos:

- i) La importancia actual del tema ambiental para las investigación del sector público,
- ii) Su importancia futura vista al año 2015, y
- iii) Cuál es el grado de dominio actual de los conocimientos necesarios para alcanzar la sustentabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso metodológico para llevar a cabo el presente estudio consistió en lo siguiente:

1. Integración del equipo nacional de trabajo, al que se incorporaron seis investigadores de las áreas forestal, agrícola y pecuaria especialistas en economía, agroforestería, administración, transferencia de tecnología, desarrollo organizacional y agroindustrias, quienes fueron capacitados sobre el diseño y elaboración de estudios prospectivos con el propósito de uniformizar criterios así como en la parte conceptual y metodológica para una mejor comprensión del proyecto.
2. Identificación y definición de factores críticos del contexto internacional, regional y nacional que tienen influencia en el funcionamiento actual y futuro de los sistemas de investigación forestal, agrícola y pecuaria de México. Con base en su experiencia en los temas, el equipo nacional de investigadores preparó un listado preliminar de variables críticas de América Latina y El Caribe que afectan la operación presente y próxima de los sistemas indicados de la Región, así como de aquellas que explican el funcionamiento y la interacción entre los componentes de esos sistemas. Para complementar la información anterior fueron revisados 42 documentos de donde se consultaron 120 artículos. Las variables identificadas en la literatura se validaron mediante entrevistas a 12 informantes clave con amplia experiencia en investigación, con conocimiento sistémico y de prestigio en su ámbito laboral (académicos, directivos o investigadores). Fueron identificadas 120 variables, y ante la imposibilidad de manejar una base tan amplia se realizó un análisis estructural y uno de matriz de impactos cruzados con la finalidad de hacer la depuración. Después de estos análisis quedó un total de 31 variables.
3. Análisis sistémico de las instituciones de investigación y construcción de modelos conceptuales, a través del cual se identificaron seis macro variables como ejes soporte.

4. Identificación de variables críticas, entre las que fueron seleccionadas la orientación estratégica de la investigación, y dentro de la misma, la dimensión ambiental y sus temas relativos a la sostenibilidad, que son las analizadas en el presente estudio prospectivo.
5. Estudio prospectivo (panel Delphi), formulación y aplicación de la encuesta Delphi la cual tuvo como propósito una reflexión colectiva por los expertos acerca de acontecimientos futuros por medio de la búsqueda de consensos y disensos para realzar las prioridades de innovación institucional sobre elementos de referencia relevantes para el desempeño de la investigación, entre ellos el de los temas asociados a la sostenibilidad ambiental.

La Figura 1 representa el diagrama del Método Delphi. A los panelistas les fueron planteadas dos preguntas. La primera, relacionada con la importancia del tema como objetivo para la innovación tecnológica agropecuaria y forestal en la actualidad y en el futuro dentro del sector público dedicado a la investigación. La segunda, sobre el dominio actual de los conocimientos necesarios para realizar avances en la comprensión del tema dentro del sector público de investigación agropecuaria y forestal. Para las calificaciones se utilizó una escala de valores de 1 a 10, donde 1 significó un valor casi nulo y 10 correspondió a un valor extremadamente elevado.

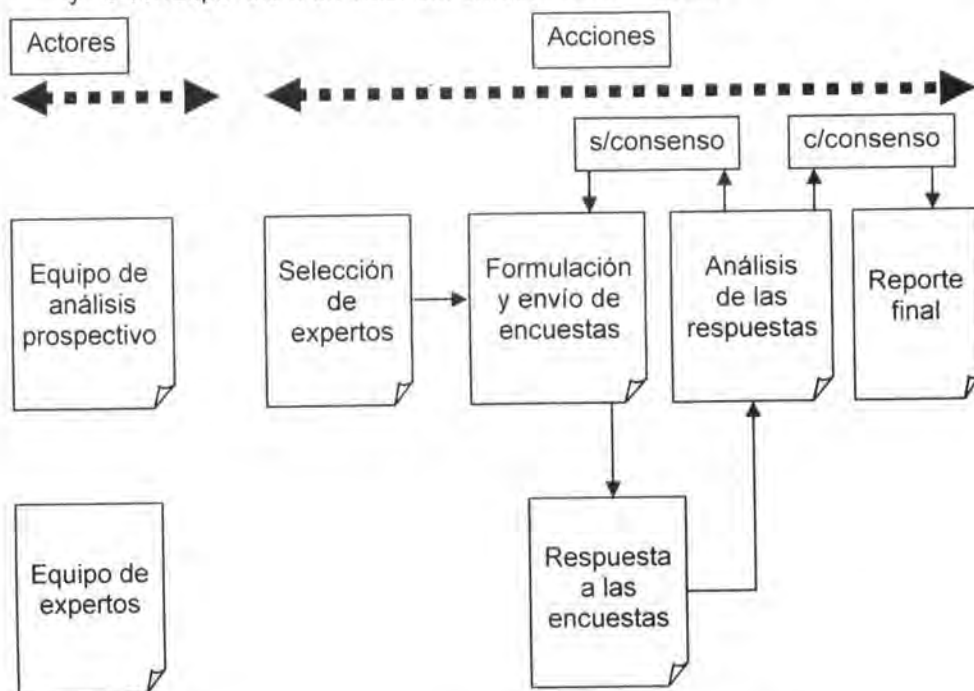


Figura 1. Diagrama del Método Delphi (Gomes, 2001).

Como medida estadística se utilizó la mediana y el primer y tercer cuartil. El consenso se determinó mediante la diferencia intercuartílica de $q3 - q1 \leq 2.5$

La necesidad de conocimiento para el desarrollo de los temas de sostenibilidad ambiental como objetivo para la innovación tecnológica se calculó mediante la fórmula:

$$N = I * (10 - D)$$

Donde:

- N = necesidad de desarrollo de conocimiento en los temas de sostenibilidad ambiental.
- I = importancia futura de la variable, y
- $10 - D$ = diferencia entre dominio máximo y el dominio evaluado por el panel

Los 13 temas para ser evaluados por los expertos fueron:

- Germoplasma, prospección y conservación *in-situ* y *ex-situ*.
- Valoración económica de la biodiversidad y de los recursos naturales.
- Explotación económica sostenible de la biodiversidad.
- Conocimiento tradicional sobre la biodiversidad.
- Conservación y manejo de polinizadores.
- Prospección y manejo sostenible de plantas.
- Gestión de recursos pesqueros.
- Impactos del sector agropecuario y forestal sobre la fauna, flora y microorganismos nativos.
- Especies exóticas invasoras actuales y potenciales.
- Organismos genéticamente modificados (OGMs) e impactos sobre la agrobiodiversidad.
- Zonificación, manejo y agricultura conservacionista.
- Gestión de la calidad y del uso del agua.
- Gestión de recursos forestales.

Se contó con la colaboración de 58 panelistas con experiencia reconocida en los ámbitos forestal, agrícola y pecuario que representaron a 22 instituciones educativas, de investigación nacional e internacional, organismos gubernamentales, dependencias financiadoras y empresas privadas.

6. Foro de estrategias para la sostenibilidad del sistema de investigación agropecuaria y forestal de México y Diseño de estrategias para mejorar el desempeño de las organizaciones del sistema de investigación agropecuaria y forestal de México, con base en los resultados del panel Delphi.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los expertos plasmaron sus calificaciones en cada uno de los rubros solicitados, sobre la importancia actual y futura en un escenario tendencial para el sector público y el dominio actual de conocimiento que se tiene de cada uno de los temas relativos a la sostenibilidad ambiental (Cuadro 1).

Para el sector público, sólo 8 de los 13 temas de investigación en sostenibilidad ambiental alcanzaron consenso en cuanto a la importancia actual. La calificación que dieron los expertos se ubicó en el intervalo de 5 y 6, valores que indican una importancia de baja a media. Los temas 9, 10, 11, 12 y 13 (Cuadro 1) no alcanzaron consenso, por lo que requieren futuros análisis.

En 61.5% de los tópicos abordados se obtuvo consenso, predominando una calificación con mediana de 5, lo que fue interpretado como que en la actualidad los temas ecológicos tienen importancia baja. Por otro lado, el no haber logrado lo anterior en los temas 9, 10, 11, 12 y 13 pudiera ser un indicador de la falta de conciencia de la dimensión ambiental en México.

La importancia futura (2015) de estos aspectos cambia de acuerdo con la percepción de los expertos. Del total de los temas, 12 alcanzaron consenso. Sólo el tema "Especies exóticas invasoras actuales y potenciales" registró disenso. La mayor importancia futura, medianas de 9 (extremadamente elevada), la alcanzaron la "Gestión de la calidad y uso del agua" y la "Gestión de recursos forestales". El tema "Germoplasma, prospección y conservación *in situ* y *ex situ*" fue calificada con una mediana de 8.5. En términos generales, dentro del escenario tendencial (2015) la importancia futura de temas ambientales alcanzó valores (medianas) que estuvieron en el intervalo 7 - 9, considerado de importancia media-alta a extremadamente alta.

En la Figura 2 se muestra la importancia presente y futura (a 2015) de los temas relativos a la sostenibilidad ambiental que lograron consenso, los cuales ejemplifican este cambio para ser incluido en las agendas de investigación estratégica de las instituciones dedicadas a la investigación agropecuaria y forestal.

Cuadro 1. Calificaciones (medianas) de los panelistas a los temas relativos a la sostenibilidad ambiental en su importancia actual y futura (2015) y grado de dominio de conocimientos.

Temas	Importancia para el sector público		Dominio actual de los conocimientos para avances sobre el tema
	Actual	2015 (escenario tendencial)	
1. Germoplasma, prospección y conservación <i>in-situ</i> y <i>ex-situ</i>	6	8.5	7
2. Valoración económica de la biodiversidad y de los recursos naturales (en la prestación de servicios ambientales y para la explotación agropecuaria y forestal sostenible)	5	8	6
3. Explotación económica sostenible de la biodiversidad	5	8	5
4. Conocimiento tradicional sobre la biodiversidad (potencial de uso e impactos)	5	8	5
5. Conservación y manejo de polinizadores	5	8	6
6. Prospección y manejo sostenible de plantas (medicinales, aromáticas, cosméticas, condimentos)	5	7	5.5
7. Gestión de recursos pesqueros	5	8	6
8. Impactos del sector agropecuario y forestal sobre la fauna, flora y microorganismos nativos	6	8	6
9. Especies exóticas invasoras actuales y potenciales (identificación de las especies, área de ocurrencia, bioecología, impacto económico, social y ambiental, medidas de control)	5.5	8	5
10. Organismos genéticamente modificados (OGM's) e impactos sobre la agrobiodiversidad	5	8	5
11. Zonificación, manejo y agricultura conservacionista (prevención y control de la erosión, monitoreo de áreas degradadas)	5	8	7
12. Gestión de la calidad y uso del agua	6	9	7
13. Gestión de recursos forestales	6	9	7

Nota: El color gris en el cuadro indica falta de consenso (diferencia intercuartílica fue > 2.5).

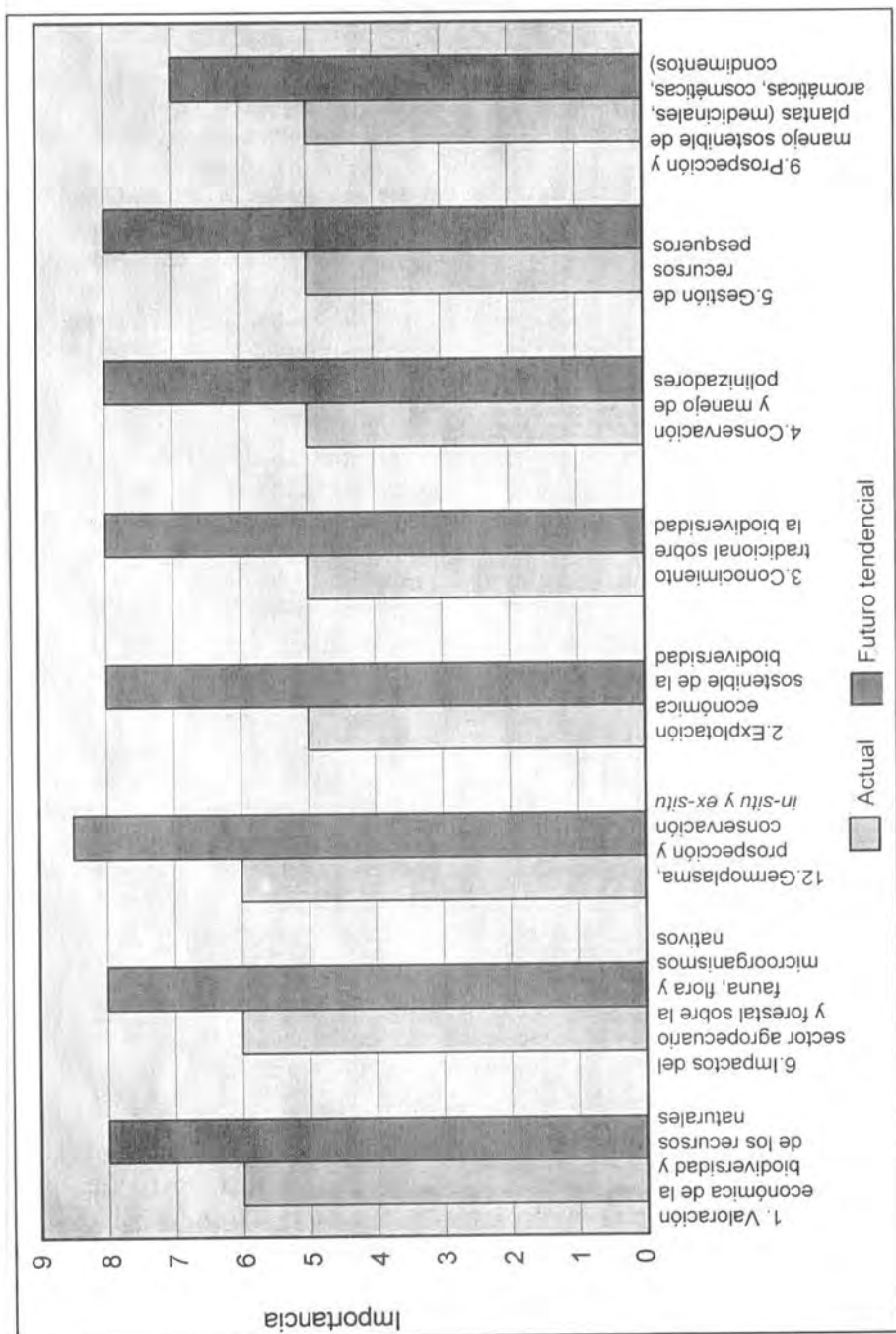


Figura 2. Importancia actual y futura de temas de sostenibilidad ambiental para la investigación pública en México.

La diferencia entre importancia actual y futura alcanzó un alto nivel de consenso ya que llegó al 92.3%; aquí destaca la visualización prospectiva de la mayoría de los temas fue calificada por los especialistas con medianas de 8, y en cuatro temas, el incremento alcanzó 3 puntos, al pasar de importancias actuales calificadas con medianas de 5 a importancias futuras calificadas con medianas de 8, los cuales fueron "Explotación económica sostenible de la biodiversidad", "Conocimiento tradicional sobre la biodiversidad", "Conservación y manejo de polinizadores" y "Gestión de recursos pesqueros". Lo anterior se interpreta como la oportunidad que visualizan los expertos en el futuro (año 2015) de que los temas ambientales sean considerados estratégicos en la orientación de la investigación agropecuaria y forestal.

El dominio actual de los conocimientos en cuatro temas no fue consensuado por los expertos, y en nueve sí ocurrió; en éstos, el intervalo de valores expresados como medianas, se dio entre 5 y 7, lo que se consideró como un dominio de conocimientos con categoría baja, ya que el único tema que alcanzó calificación con mediana 7 fue el de "Zonificación, manejo y agricultura conservacionista", estimado con un dominio de conocimientos medio. Los temas que no tuvieron consenso fueron los de "Germoplasma, prospección y conservación *in-situ* y *ex-situ*", "Organismos genéticamente modificados e impactos sobre la agrobiodiversidad", "Gestión de la calidad y del uso del agua" y "Gestión de recursos forestales", los cuales deben ser sometidos a un nuevo análisis y discusión para tratar de encontrar acuerdos.

Bajo el concepto de dominio actual de conocimientos, 69.2% de los tópicos relativos al estudio de temas ambientales estuvo en la categoría de consensuados. Sin embargo, las calificaciones emitidas en el panel Delphi por los expertos, permite ver que las instituciones dedicadas a la investigación del medio ambiente, no poseen en la actualidad un conocimiento amplio para manejar este asunto medular, ya que se calificó con medianas de 5, 5.5 y 6, y esto supone que deberán que prepararse en el futuro para hacer frente a las demandas sociales de investigación agropecuaria y forestal.

La necesidad de conocimiento por parte de las instituciones de investigación para el desarrollo de los temas relacionados con sostenibilidad ambiental como objetivo para la innovación tecnológica mostraron consenso en ocho de ellos, según la Figura 3, y de acuerdo a la fórmula que se utilizó, tuvieron valores de 40 y fueron "Explotación económica sostenible de la biodiversidad" y "Conocimiento tradicional sobre la biodiversidad", cuatro de los temas alcanzaron un valor de 32 en necesidad de conocimiento, un tema tuvo valor de 31.5 y un tema un valor de 24, que fue el de "Zonificación, manejo y agricultura conservacionista".

Con base en la Figura 4 se concluye que de acuerdo a las opiniones de los expertos, expresadas por medio de sus calificaciones, los dos temas con valor

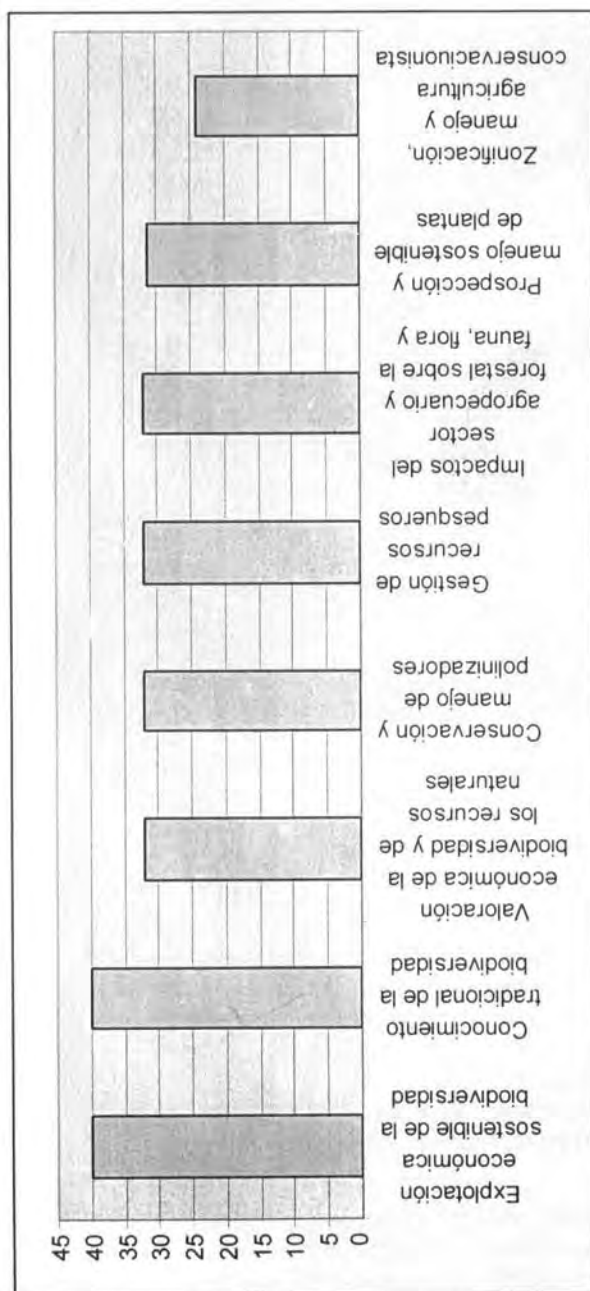


Figura 3. Necesidad de conocimiento para desarrollar los temas consensuados de sostenibilidad ambiental en la investigación pública.



Figura 4. Investigadores que trabajaron el cuestionario Delhi sobre prospección de la investigación al año 2015.

40 son a los que se deberá poner el mayor énfasis por parte de las instituciones públicas de investigación para ser incorporadas en sus agendas de trabajo.

En los temas que no alcanzaron consenso, destacan dos de ellos: la Gestión de la Calidad y uso del agua y la Gestión de Recursos Forestales, en razón de que son los tópicos que los expertos califican con el valor más alto en el futuro tendencial (2015), ya que se les evaluó con una mediana de 9, que se traduce como importancia extremadamente elevada para las instituciones del sector público dedicado a la investigación, situación que se transforma en prioritaria dentro de las agendas de investigación, primero para lograr consenso y después para identificar el nivel de prioridad en el que deben ser atendidos los problemas del agua y del bosque.

Finalmente, se organizó un Foro de Estrategias para la Sostenibilidad del Sistema de Investigación Agropecuario y Forestal de México que se realizó en esta Ciudad en el mes de mayo del 2006, en el cual participaron 26 expertos (tomadores de

decisiones, directivos e investigadores del Sistema Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología para el Desarrollo Rural Sustentable de México) involucrados en el sistema de investigación señalado. Este grupo representó a instituciones públicas y privadas de investigación y educación que desarrollan actividades en la materia, instituciones internacionales de investigación y desarrollo tecnológico que operan en México, empresas nacionales e internacionales generadoras de tecnología agropecuaria y forestal, organizaciones nacionales e internacionales dedicadas a la investigación de apoyo al sector rural, consultores privados y dependencias públicas federales responsables de las políticas de desarrollo rural y de ciencia y tecnología del país.

Las acciones recomendadas para satisfacer las necesidades de conocimiento y otras capacidades para atender el futuro tendencial (al 2015), fueron las siguientes:

1. Concluir los inventarios biológicos y actualizarlos.
2. Intercambiar información científica y promover la formación de bibliotecas virtuales.
3. Integrar un directorio de investigadores especialistas en cuestiones ambientales.
4. Conocer e identificar las necesidades y demandas de investigación.
5. Integrar el inventario de las organizaciones nacionales e internacionales que realizan investigación específica en materia ambiental, así como de la infraestructura con que cuentan para ello.
6. Elaborar proyectos de investigación en materia ambiental.
7. Firmar convenios de cooperación científica entre instituciones orientados a generar conocimientos que fortalezcan la sostenibilidad ambiental.
8. Identificar necesidades de capacitación y medios de contratación de personal.
9. Diagnosticar las condiciones en que se encuentran los recursos naturales.

CONCLUSIONES

Con base en las calificaciones emitidas por los expertos a la encuesta Delphi, se concluyó que en México se le ha dado poca importancia a la investigación pública relacionada con la sostenibilidad ambiental.

Existe un dominio bajo de conocimiento sobre sostenibilidad ambiental por parte de las instituciones públicas de investigación, por lo que es necesario ampliarlo en un escenario de futuro tendencial (2015), así como incrementar los esfuerzos destinados a capacitar a los investigadores en este asunto.

Los expertos participantes tuvieron opiniones divergentes que arrojaron disensos (sin consenso) en lo que respecta a la importancia actual (61.5% de consenso), importancia futura (92.3% de consenso) y grado de dominio sobre los conocimientos (69.2% de consenso), por lo que es conveniente volver a analizar, discutir y evaluar aquellos temas que no alcanzaron consenso. Destacan en esta situación los temas relativos al agua y a los bosques, que fueron los que los expertos calificaron en el futuro como de una importancia extremadamente elevada.

Como parte de su estrategia las organizaciones dedicadas a la investigación agropecuaria y forestal deben incluir en sus agendas de trabajo temas relacionados con la sostenibilidad ambiental, para dar respuesta a las demandas de la sociedad y con ello fortalecer la innovación institucional.

AGRADECIMIENTO

Al INIFAP por su aportación económica y facilidades para realizar el trabajo que dio origen al presente artículo. El agradecimiento se hace extensivo a la Red Nuevo Paradigma por permitirnos compartir esta experiencia conceptual y metodológica.

REFERENCIAS

- Álvarez, F., M. A. Mato B., G. J. Santamaría, P. J. Cheaz y S. J. de Souza. 2005. El arte de cambiar a las personas que cambian las cosas. El cambio conceptual del ser humano desde su contexto cambiante. Red Nuevo Paradigma. Quito, Ecuador. 237 p.
- De Souza, S. J., P. J. Cheaz y R. J. Calderón. 2001. La cuestión institucional: de la vulnerabilidad a la sostenibilidad institucional en el contexto del cambio de época. Serie Innovación para la Sostenibilidad Institucional. San José, Costa Rica: Proyecto ISNAR "Nuevo Paradigma". 79 p.
- De Souza, S. J., P. J. Cheaz, G. J. Santamaría, M. A. Mato B. y A. León. 2001. La dimensión de estrategia en la construcción de la sostenibilidad institucional. Serie Innovación para la Innovación Institucional. San José, Costa Rica: Proyecto ISNAR "Nuevo Paradigma". 185 p.
- Gomes de C., A. M., S. M. Valle L., B. A. Maestrey, V. Trujillo, O. Alfaro, O. Mengo y M. Medina. 2001. La dimensión de futuro en la construcción de la sostenibilidad institucional. Serie Innovación para la Sostenibilidad Institucional. San José, Costa Rica: Proyecto ISNAR "Nuevo Paradigma". 98 p.
- Gomes de C., A. M., S. M. Valle L., S. J. de Souza, B. A. Maestrey, G. J. Ramírez, G. J. Santamaría, O. Mengo y S. A. Ayala. 2005. Proyecto *Quo Vadis*: el futuro de la investigación agrícola y la innovación institucional en América Latina y el Caribe. ISNAR. Quito, Ecuador. 276 p.

- Instituto Nacional de Ecología. 1993. Elementos estratégicos para el desarrollo de la educación ambiental en México. México, D. F. 112 p.
- Mato B., M. A., G. J. Santamaría, S. J. de Souza y P. J. Cheaz. 2001. La dimensión de gestión en la construcción de la sostenibilidad institucional. Serie Innovación para la Innovación Institucional. San José, Costa Rica: Proyecto ISNAR "Nuevo Paradigma". 120 p.
- Salazar, L., S. J. de Souza, P. J. Cheaz y S. Torres. 2001. La dimensión de participación en la construcción de la sostenibilidad institucional. Serie Innovación para la Sostenibilidad Institucional. San José, Costa Rica: Proyecto ISNAR "Nuevo Paradigma". 160 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Situación del medio ambiente en México. <http://portal.semarnat.gob.mx/>. 148 p.
- Saldaña A., R., J. A. Espinosa G., G. Moctezuma L., S. A. Ayala, A. C. Tapia N. I. M. Ríos, R., S. M. Valle L. y A. M. Gomes de C. 2006. Proyecto *Quo Vadis*: El Futuro de la Investigación Agropecuaria y Forestal y la Innovación Institucional de México. INIFAP. México. 276 p.
- Valle L., S. M., A. M. Gomes de C., O. Mengo, M. Medina, B. A Maestrey, V. Trujillo y O. Alfaro, 2001. La dimensión de entorno en la construcción de la sostenibilidad institucional. Serie Innovación para la Sostenibilidad Institucional. San José, Costa Rica: Proyecto ISNAR "Nuevo Paradigma". 141 p.
- Valle L., M. S., A. M. Gomes de C., M. dos Santos M., N. A. Dos Santos, M. A. López, J. R. Porto de C., M. P. Camargo de F., S. J. de Souza, A. C. Fernandes C., M. S. Câmara L. y M. A. Gusmão M. 2005. Projeto *Quo Vadis* O Futuro da Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, Brasil. 451 p.

ANATOMÍA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES DE *Quercus* (FAGACEAE) DEL ESTADO DE MÉXICO

Carmen-de la Paz Pérez-Olvera¹, Irma Reyes Jaramillo¹
y Silvia Rebollar Domínguez¹

RESUMEN

Se describe la anatomía de la madera de dos especies de *Quercus* (*Q. hintonii*-encino rojo y *Q. magnoliifolia*-encino blanco), recolectadas en el Estado de México y que tienen importancia por su abundancia, tipo de bosque donde se desarrollan y porque una de ellas es endémica de la región. Con el propósito de proponer el uso de su madera, se realizó un estudio macroscópico en el que se usaron tablillas de 12 x 7 x 1 cm y para el microscópico se hicieron laminillas fijas de cortes y de material disociado. El material procede de la localidad de Rincón de Ugarte, Municipio de Tejupilco. Tanto las tablillas como los cortes se efectuaron en los tres planos típicos: transversal, tangencial y radial. A los elementos mensurables se les practicó un análisis estadístico univariado y se clasificaron con base en la media. La madera de las dos especies reveló características macroscópicas y microscópicas semejantes con relación al olor, al sabor, el veteado, la textura y el hilo, agrupación de los poros, tipo de platina de perforación y tipo de punteaduras en los elementos de vaso. Por otro lado, al tratarse de especies de diferente subgénero la madera también presenta diferencias notables en el color, en la porosidad, en el arreglo y tamaño de los poros, en las dimensiones de los radios multiseriados y en el tipo y abundancia de los contenidos celulares.

Palabras clave: Anatomía de la madera, especies endémicas, Estado de México, *Quercus hintonii*, *Quercus magnoliifolia*, usos de la madera de encinos.

Fecha de recepción: 18 de septiembre de 2007.

Fecha de aceptación: 07 de octubre de 2008.

¹ Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana. Correo-e: cppo@xanum.uam.mx

ABSTRACT

The description of the wood anatomy of two *Quercus* species (*Q. hintonii*, red oak and *Q. magnoliifolia*, white oak) was made. The wood samples were collected at the State of Mexico, where these species are abundant and evenmore, the first of them is endemic of that region. One tree for each species was collected in the temperate forest of Tejupilco. Wood samples of 12 x 7 x 1 cm were used to obtain macroscopic features and permanent and macerated slides were used for microscopic study. Univariate statistical analysis was used to obtain average and dispersal data for numerical classification of features. Similar features in odour, taste, figure, texture, grain, vessel groupings, intervessel pittings and perforation plate types were showed by both species. Because *Q. hintonii* and *Q. magnoliifolia* belong to different subgenus, they showed differences in wood color, luster, porosity, vessel arrangement, multiseriate rays size and cellular contents. Results showed that wood of these oaks can be introduced to the market and new options for the use of these species are proposed.

Key words: Wood anatomy, endemic species, State of Mexico, *Quercus hintonii*, *Quercus magnoliifolia*, oak wood uses.

INTRODUCCIÓN

En México el género *Quercus* constituye un recurso forestal maderable de gran importancia pues es considerado como un centro de diversificación donde se estima que existen entre 125 y 200 especies (Nixon, 1993; Zavala, 1998). Los encinos forman parte de la vegetación de sitios montañosos y escarpados de clima templado de la mayoría de las sierras que forman el territorio mexicano. Existen especies de amplia distribución y, en contraste, también un alto porcentaje son endémicas (CONABIO, 1998).

El Estado de México tiene una superficie territorial de 22,357 km² que alberga a 124 municipios. Su relieve se caracteriza por valles, sierras, lomeríos y volcanes aislados que originan la diversidad de rocas, suelos, climas y vegetación. El territorio forestal cubre 6217.48 km², que corresponde al 27.81% del total estatal (INEGI, 2008). La mayor concentración y diversidad forestal se concentra en el interior de la Cuenca del Río Balsas, en los sistemas montañosos de la Cuenca del Río Lerma y en la Cuenca del Pánuco. Del bosque de encino se extrae madera para la elaboración de carbón, leña y tablas de uso doméstico y, finalmente, se le destina al uso agrícola y pecuario.

Romero *et al.* (2002) reconocen 23 especies de encino en el Estado de México (10 del Subgénero *Leucobalanus* o encinos blancos y 13 del Subgénero *Erythrobalanus* o encinos rojos), taxonómicamente el género *Quercus* es considerado complicado, por su gran variación morfológica y la capacidad de formar

híbridos, lo que ha inducido a la creación de sinónimos. Sobre las características anatómicas de las especies del Estado, sólo se conoce la aportación de Arcia (1979) quien también incluyó las propiedades físicas de tres especies recolectadas en Tejupilco.

El presente estudio es una contribución al conocimiento de la madera de dos especies de la entidad: *Quercus magnoliifolia* Née (encino blanco) de amplia distribución en el país (McVaugh, 1974; González, 1986) y *Quercus hintonii* Warburg (encino rojo), especie endémica de la Cuenca del Balsas específicamente en el Estado de México y de Michoacán (Aguilar y Romero, 1995; Romero *et al.*, 2000; Rodríguez *et al.*, 2002), con el objetivo de conocer las propiedades anatómicas de su madera para promover que las incorporen a los planes y programas de propagación, reforestación y conservación que favorezcan su introducción al mercado nacional, bajo condiciones de un manejo y un aprovechamiento sustentable para la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de recolección

Las dos especies de interés se recolectaron en la localidad de Rincón de Ugarte, perteneciente al Municipio de Tejupilco de Hidalgo, al suroeste del Estado de México. Este sitio se ubica entre los paralelos 18°56'27" de latitud norte y 100°09'20.92" de longitud oeste, a 1500 msnm (Figura 1). En la región noreste donde predomina el bosque de encino caducifolio, dominado por las especies: *Quercus magnoliifolia*, *Q. obtusata* Humb. et Bonpl., *Q. peduncularis* Née (encinos blancos) y *Q. hintonii*, (encino rojo), el clima es semicálido subhúmedo, con una marcada estación seca en primavera y abundantes lluvias durante el verano. En general, la temperatura media anual oscila entre los 18° y 26° C y la precipitación anual promedio es de 1200 a 1400 mm. La región se localiza en el sistema orográfico de la provincia Sierra Madre del Sur, subprovincia Depresión del Balsas (Gobierno del Estado de México, 2005). El relieve se compone de formaciones cerriles que se desprenden de la Sierra de Temascaltepec, bajo el nombre de la Sierra de la Cumbre, Cerro de Cacalotepec y el Cardo. Las rocas en la zona son de tipo metamórfico, principalmente esquistos y los suelos son Regosoles y Cambisoles (Reyes, 2006).

Obtención de muestras y procesamiento

Para el estudio microscópico, de una troza se sacaron dos rodajas de 1 cm de grosor, a 1.30 m de altura desde la base del árbol; de ahí se cortaron cubos de 1 x 1 cm, mismos que se ablandaron a ebullición en agua destilada por lapsos de cinco horas, durante ocho días para la especie roja y 12 para la blanca. En dichas piezas se hicieron cortes de 15 a 20 µm de grosor, en los planos transversal, tangencial y radial.

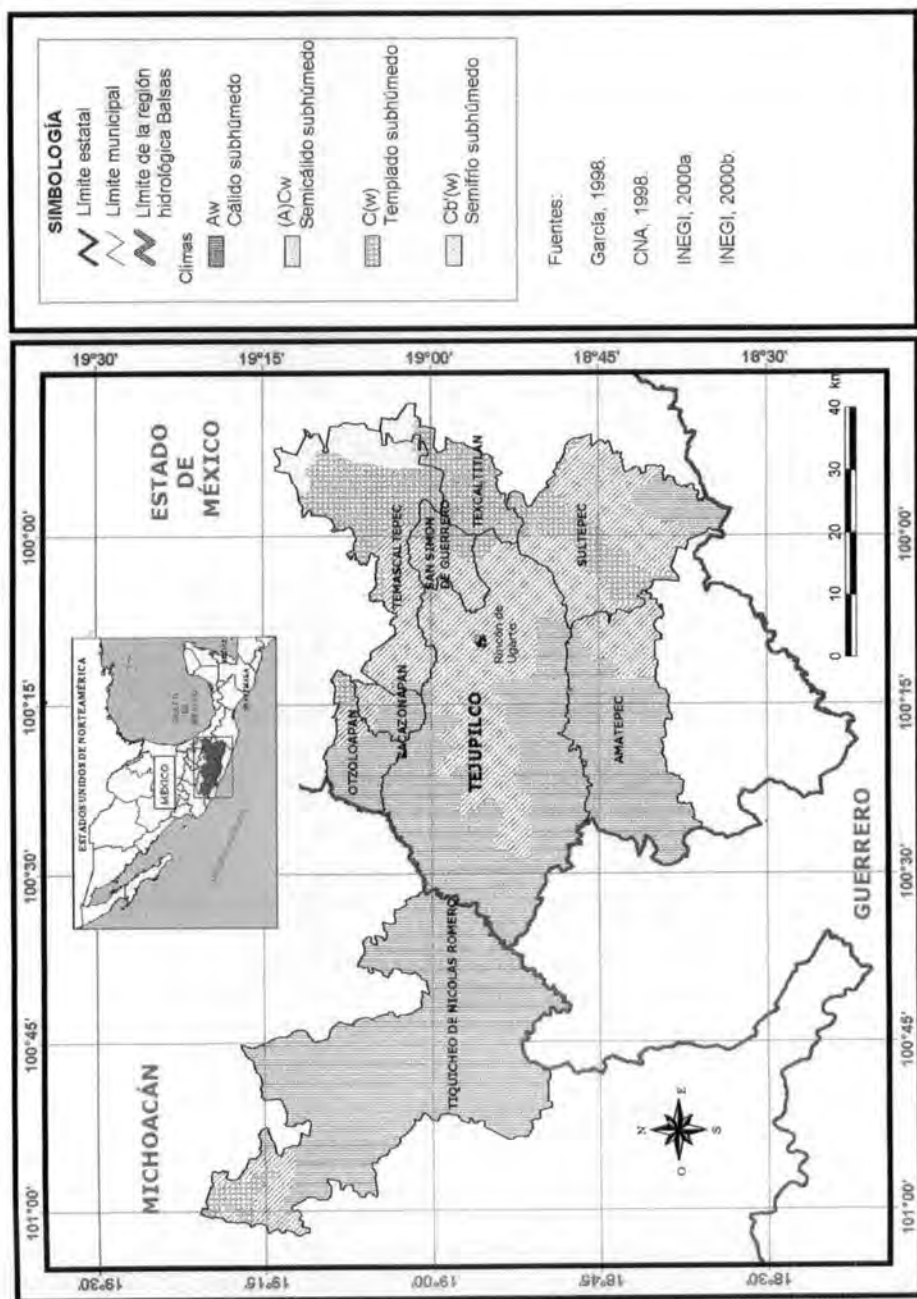


Figura 1. Ubicación del área de estudio: Municipio de Tejuipilco, Estado de México.

De acuerdo con Johansen (1940) y Sandoval (2005), los cortes se tiñeron con safranina-verde rápido; se dejaron reposar en la solución por 15 minutos, se lavaron con agua destilada y por lapsos de cinco minutos, se deshidrataron en alcoholes al 30, 50, 70, 96 y 100%. Posteriormente, se depositaron en verde rápido durante dos minutos y se les agregaron dos gotas de aceite de clavo, se pasaron a xilol por un minuto y al final del proceso, se montaron en resina sintética.

De los mismos cubos se cortaron pequeñas virutas, las cuales se colocaron en tubos de ensaye a los que se les incorporó una solución a partes iguales de ácido acético, ácido láctico, ácido nítrico y glicerina; se flamearon en pequeños intervalos durante 10 h. Una vez disociado el material, se lavó con agua destilada, se tiñó con safranina y se hicieron preparaciones fijas montándolas con gelatina glicerina.

A los elementos mensurables se les aplicó un análisis estadístico univariado y se clasificaron con base en la media de acuerdo con Chattaway (1932) y IAWA Committee (1937, 1939). En un cuadro para cada especie, se incluyen los valores mínimo, máximo y la media. Las descripciones microscópicas se hicieron de acuerdo con IAWA Committee (1964, 1989), para los radios también se consideró a Kribs (1968).

Para el estudio macroscópico, se trabajó con tablillas de 12 x 7 x 1 cm procedentes del resto de la troza. Las características se determinaron mediante las tablas de clasificación de Tortorelli (1956) y para el color, las tablas de Munsell (1990).

Se describió: el color, el olor, el sabor, el brillo, el veteado, la textura, el hilo y la visibilidad de los anillos de crecimiento de cada especie. Se incluyeron, además, los nombres comunes, la distribución y las características botánicas de acuerdo con McVaugh (1974), Martínez (1981), Moreno (1984), González (1986), Aguilar y Romero (1995) y Zavala (1998).

Las muestras de madera se registraron en la Xiloteca UAMIZ y los ejemplares de respaldo se depositaron en el Herbario Metropolitano UAMIZ, Dr. Ramón Riba y Nava (Cuadro 1).

Cuadro 1. Registro de las especies estudiadas.

Nombre científico	Nombre común	Registros		Procedencia	Recolector	Identificó
		Xiloteca	Herbario			
<i>Quercus hintonii</i>	Encino prieto	M-214	61121	Estado de México	C. de la Paz	L. Aguilar
<i>Quercus magnoliifolia</i>	Roble	M-215	61122	Estado de México	C. de la Paz	L. Aguilar

RESULTADOS

Descripción de las especies

1. *Quercus hintonii* Warburg (Figura 2a)

Familia: Fagaceae

Subgénero: *Erythrobalanus* (encino rojo)

Nombre común: encino prieto

Distribución.- Es una especie endémica de la Cuenca del Balsas. En el Estado de México se le ha consignado en los municipios de Oztoloapan, Zacazonapan, Temascaltepec, Tejupilco, San Simón de Guerrero, Texcaltitlán, Amatepec, Sultepec y Tlatlaya. En Michoacán, en el municipio de Tiquicheo de Nicolás Romero, en altitudes de 1300 a 2000 msnm.

Características botánicas (Figura 2b-e).- Árbol monoico, caducifolio de hasta 20 m de altura, de diámetro a la altura del pecho (DAP) de 50 cm, la corteza en placas pequeñas, de color castaño oscuro, dispuestas irregularmente, separadas por surcos profundos. Las hojas son simples, alternas, de forma oblanceolada a obovada o elípticas, de ápice aristado, acuminado, obtuso o agudo, con la base redondeada o ligeramente cordada, borde entero o aristado, el limbo es grueso, coriáceo y opaco, de color verde claro en el haz y densamente tomentoso rojizo cuando joven y amarillento con la edad, en el envés. La nervadura central es pilosa, que le da un aspecto aterciopelado, miden de 9 a 18 cm de largo por 3 a 6 cm de ancho. Las flores masculinas en amentos rojos hasta de 10 mm de largo, las femeninas en espigas, con el estilo largo. El fruto es una nuez bianual, de color castaño rojizo claro, de forma ovoide, con abundante tomento, solitario o en pares en la extremidad de un pedúnculo de 15 mm de largo, la nuez de 6 a 15 mm de largo por 9 a 13 mm de diámetro, con una semilla.

Características macroscópicas (Figura 2f-g).- La madera presenta poca diferencia de color entre albura y duramen, la albura es de color rosado y el duramen castaño rojizo, los radios multiseriados son de color rojo contrastando con los demás elementos celulares. No tiene olor ni sabor característicos, el brillo es mediano, el veteado es pronunciado, la textura es gruesa y el hilo es recto. Los anillos de crecimiento están marcados por una banda de fibras y por los vasos de la madera temprana.

Características microscópicas (Figura 2h-j y Cuadro 2).- La madera presenta porosidad con tendencia a la anular. Los poros son exclusivamente solitarios arreglados en hileras radiales. Son poco numerosos, de contorno oval, de diámetro

tangencial mediano en la madera temprana y pequeño en la tardía. Los elementos de vaso son de longitud mediana, con platina de perforación simple, paredes terminales oblicuas y punteaduras areoladas alternas de forma oval. Las punteaduras radio-vaso son simples, con bordes reducidos y arreglo vertical. Alrededor de los vasos se encuentran traqueidas vasicéntricas. Algunos vasos presentan tálides o gomas. El parénquima axial es abundante, difuso en agregados, alternando con bandas de fibras. Los radios son uniseriados y multiseriados, homogéneos, formados por células procumbentes. Los radios uniseriados son numerosos y muy bajos, la mayoría de 14 células. Los radios multiseriados son poco numerosos, altos y anchos, la mayoría de 22 series, generalmente son agregados. Las fibras son de tipo libriforme y fibrotraqueida, de longitud mediana, diámetro fino y grosor de la pared mediano, alternando con el parénquima axial. Los radios y las fibras presentan abundantes taninos.

Usos sugeridos.- Con base en las particularidades que presenta la madera, principalmente el color y el contraste que hacen los radios multiseriados, resaltando cualquier plano de la madera, su tendencia a porosidad anular, las dimensiones de los radios que influyen en el veteado y la textura, las características de las fibras en las que destaca el grosor mediano de su pared, la distribución del parénquima axial y añadiendo su hilo recto y que no presenta olor ni sabor característicos, es una madera que puede ser empleada en donde se requiera belleza y resistencia como decoración de interiores en pisos, escaleras, pasamanos, bancas y baúles, diversas artesanías, juguetes, muebles infantiles, mangos y cabos para herramientas, cajas, madera labrada, escultura, utensilios de cocina, entre otros, donde se ponga de manifiesto sus excelentes propiedades anatómicas.

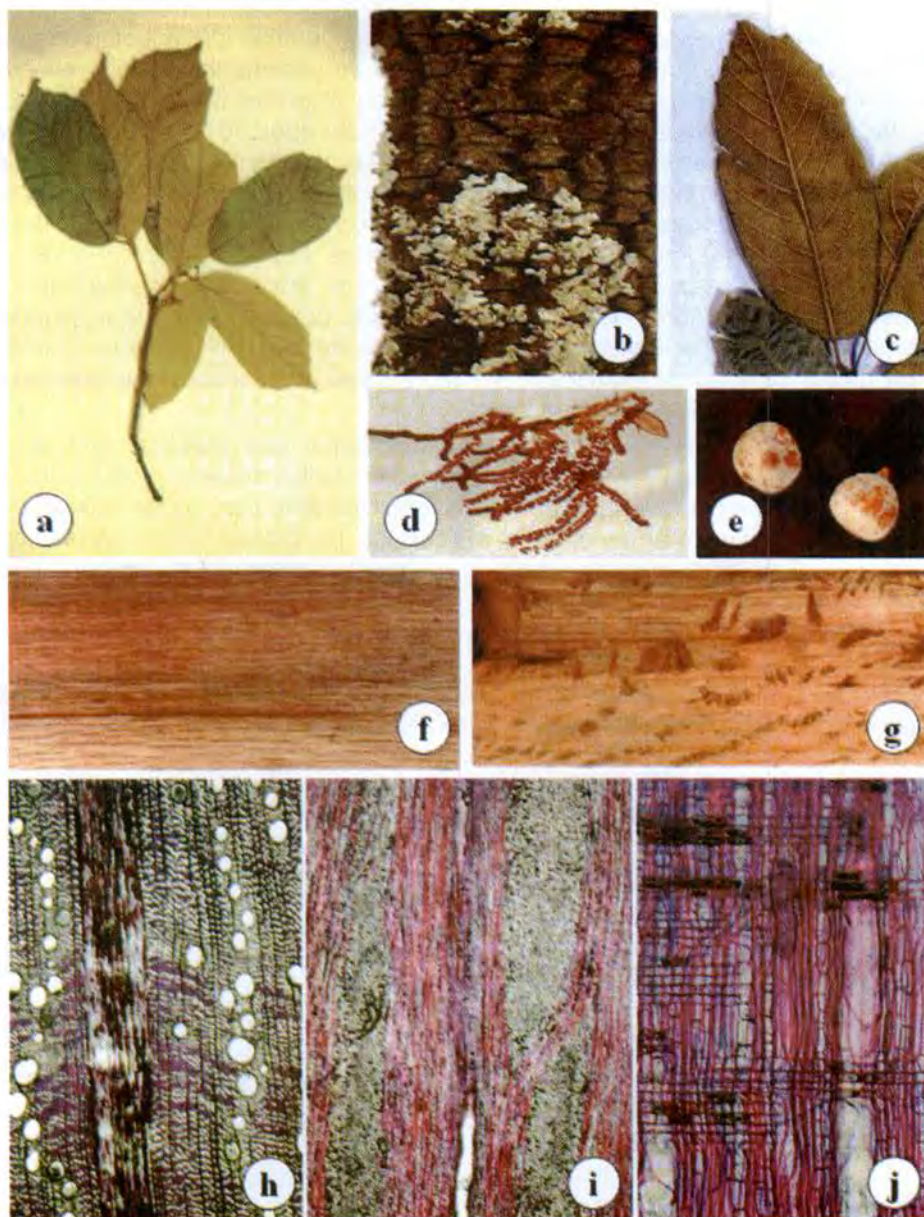


Figura 2. *Quercus hintonii* Warburg. a) ejemplar de herbario, b) corteza, c) hoja, d) flor masculina, e) fruto, f) tablilla tangencial, g) tablilla radial, h) corte transversal (2.5x), i) corte tangencial (5x), j) corte radial (10x).

Cuadro 2. Características mensurables de *Quercus hintonii* Warburg.

Vasos				Fibras		
Poros		Elementos		Fibrotraqueidas		
Número/mm ²	Diámetro Tangencial (μ)		Longitud (μ)	Longitud (μ)	Diámetro (μ)	Grosor (μ)
	Madera temprana	Madera tardía				
Pocos	mediano	pequeño	mediana	mediana	fino	mediano
Mínimo 4	137	65	300	700	8	5
Máximo 11	240	117	650	1980	13	11
Mediano 7	180	98	448	1163	10	5

Radios						
Uniseriados			Multiseriados			
Número/mm	Altura (μ)	Número de células	Número en 5 mm	Altura (cm)	Anchura (μ)	Número. de series
Numerosos	muy bajos		pocos	altos	anchos	
Mínimo 6	75	4	2	0.5	210	15
Máximo 12	463	23	4	1.5	720	30
Mediano 8	300	14	3	1.0	500	22

2. *Quercus magnoliifolia* Née (Figura 3a)

Familia: Fagaceae

Subgénero: *Leucobalanus* (encino blanco)

Nombres comunes: roble, encino amarillo

Distribución.- Es una especie con amplia distribución en el país, en áreas templadas y cálidas de los estados de San Luis Potosí, Aguascalientes, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Estado de México, Morelos y Puebla, en altitudes de 800 m a 1800 msnm, y en ocasiones se le ha encontrado en los 2200 m y hasta los 375 m.

Características botánicas (Figura 3b-c).- Árbol monoico, caducifolio de 25 m de altura, de diámetro a la altura del pecho (DAP) de 60 cm, la corteza en placas cuadradas, de color gris claro, dispuestas en hileras. Las hojas son simples, alternas, de forma oblanceolada-obovada, de ápice obtuso o agudo, con la base redondeada o ligeramente cordada, borde entero a ondulado, el limbo es delgado y brillante, de color verde oscuro en el haz y casi glabro y densamente con pubescencia estrellada amarillenta en el envés. La nervadura central es escamosa, miden de 15 a 25 cm de largo por 8 a 10 cm de ancho. Las flores masculinas en amentos amarillos hasta de 30 mm de largo, las femeninas en espigas. El fruto es una nuez anual, de color castaño claro, de forma ovoide, solitaria o en pares en la extremidad de un pedúnculo de 15 mm de largo, la nuez de 25 a 35 mm de largo por 25 a 30 mm de diámetro, con una semilla.

Características macroscópicas (Figura 3d-e).- La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen, es de color castaño amarillento, los radios multiseriados son de color castaño grisáceo contrastando con los demás elementos celulares. No tiene olor ni sabor característicos, el brillo es bajo, el veteado es pronunciado, la textura es gruesa y el hilo es recto. Los anillos de crecimiento están marcados por una hilera de poros de la madera temprana y parénquima.

Características microscópicas (Figura 3f-h y Cuadro 3).- La madera es de porosidad difusa. Los poros son exclusivamente solitarios, con arreglo flamiforme. Son poco numerosos, de contorno oval, de diámetro tangencial mediano. Los elementos de vaso son de longitud mediana, con platina de perforación simple, paredes terminales oblicuas y punteaduras areoladas alternas de forma oval. Las punteaduras radiovaso son simples, con bordes reducidos y arreglo vertical. Alrededor de los vasos se encuentran traqueidas vasicéntricas. Los vasos presentan escasas tilides. El parénquima axial es en bandas de una hilera alternando con bandas de fibras.

Presenta cristales prismáticos. Los radios son uniseriados y multiseriados, homogéneos, formados por células procumbentes. Los radios uniseriados son numerosos y muy bajos, la mayoría de 16 células. Los radios multiseriados son poco numerosos, altos y muy anchos, la mayoría de 35 series, algunos son agregados. Presentan cristales prismáticos. Las fibras son de tipo libriforme y fibrotraqueida, de longitud mediana, diámetro fino y pared muy gruesa, alternando con las bandas de parénquima.

Usos sugeridos.- Con base en la abundancia y las paredes gruesas de sus fibras, la altura y anchura de los radios multiseriados y la presencia de tilides en los vasos, es una madera que puede ser empleada en donde se requiera alta resistencia mecánica y a la pudrición.

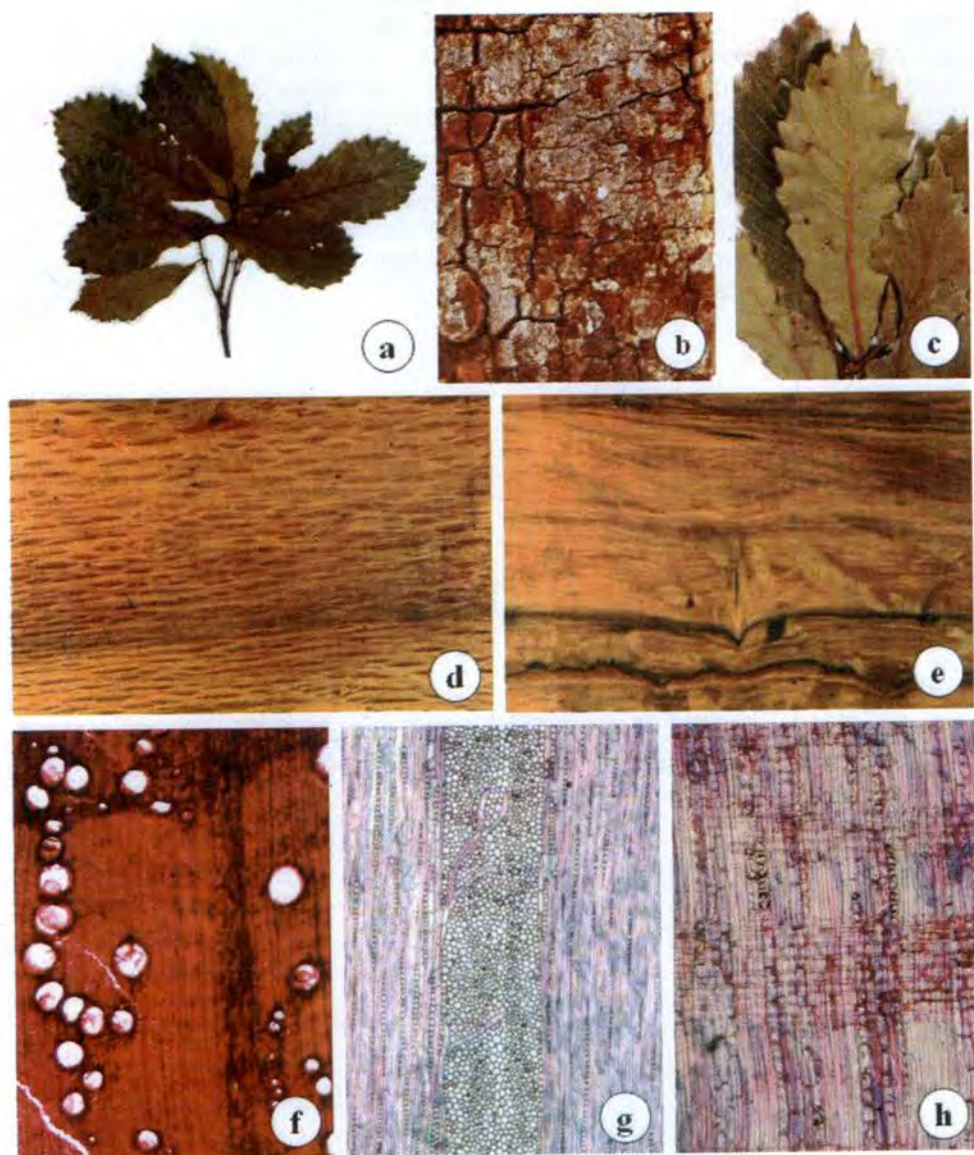


Figura 3. *Quercus magnoliifolia* Née. a) ejemplar de herbario, b) corteza, c) hoja, d) tablilla tangencial, e) tablilla radial, f) corte transversal (2.5x), g) corte tangencial (5x), h) corte radial (10x).

Cuadro 3. Características mensurables de *Quercus magnoliifolia* Née.

Vasos				Fibras	
Poros		Elementos		Fibrotraqueidas	
Número/mm ²	Diámetro tangencial (μ)	Longitud (μ)	Longitud (μ)	Diámetro (μ)	Grosor (μ)
Pocos	mediano	mediana	mediana	fino	muy grueso
Mínimo 3	100	350	930	10	4
Máximo 6	290	820	1810	16	10
Mediano 5	198	520	1361	13	8

Radios						
Uniseriados		Multiseriados				
Número/mm	Altura (μ)	Número de células	Número en 5 mm	Altura (cm)	Anchura (μ)	Número de series
Numerosos	muy bajos		pocos	altos	muy anchos	
Mínimo 7	113	6	1	0.5	260	18
Máximo 18	480	25	2	2.0	990	45
Mediano 10	355	16	1	1.5	700	35

DISCUSIÓN

Los bosques de la región de Tejupilco han sufrido un grave deterioro por varias razones, entre ellas porque no existen planes de manejo para su aprovechamiento y porque la extracción de madera se hace de forma clandestina para satisfacer necesidades diversas tales como la elaboración de postes para cercas y leña para combustible; a ello contribuye también, la invasión y reducción de su hábitat por el cambio de uso del suelo para destinar los terrenos forestales a prácticas de ganadería, agricultura o asentamientos humanos; además, los frecuentes incendios contribuyen a que desaparezca el bosque de extensas zonas, promoviendo así la degradación del suelo manifiesta en la erosión (Gobierno del Estado de México, 2005).

La institución Global Trees Campaign (2005) indica que la población de *Quercus hintonii* está en riesgo por la actividad de las comunidades locales. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2005), la coloca en la lista de especies en peligro y la incorpora a la norma 059 en la categoría de especies amenazadas, a pesar de que Rodríguez *et al.* (2002) mencionan que se distribuye en un territorio cercano a las 46,000 ha. Es indiscutible e impostergable la conservación del encinar por los grandes beneficios que aporta.

La madera de *Quercus hintonii* y de *Q. magnoliifolia* posee las cualidades macroscópicas y microscópicas consignadas en la literatura para las especies mexicanas del género *Quercus* (Bucio, 1985; Guerrero, 1985; Cruz de León, 1995; López y Rechy, 1995; De la Paz Pérez, 2000; De la Paz Pérez y Quintanar, 2001; De la Paz Pérez *et al.*, 2006), las cuales son: olor y sabor no característicos, veteado pronunciado, textura gruesa, hilo recto, anillos de crecimiento marcados, pocos poros y solitarios, punteaduras areoladas alternas, platina de perforación simple y paredes terminales oblicuas en los elementos vasculares, traqueidas vasicéntricas, radios uniseriados y multiseriados, homogéneos, formados de células procumbentes, los uniseriados numerosos y fibras libriformes y fibrotraqueidas de diámetro fino.

Al tratarse de especies de diferente subgénero, sus rasgos particulares las identifican con cada uno en cuanto al color de la madera, altura y anchura de los radios multiseriados y el tipo de contenidos celulares (De la Paz Pérez y Aguilar, 1978). En este estudio, *Q. hintonii* presentó tonos de rosa a rojo, radios multiseriados altos y anchos de 15 a 30 series y abundantes taninos en ambos parénquimas y en las fibras. En cambio, la madera de *Q. magnoliifolia* mostró tono castaño amarillento, radios multiseriados altos y muy anchos, de 18 a 45 series, escasas tilides en los vasos y cristales prismáticos en ambos parénquimas.

Además de estas particularidades, en *Q. hintonii* la porosidad es con tendencia a la anular, las fibras son menos abundantes que en la especie blanca y de pared mediana. En *Q. magnoliifolia* la porosidad es difusa, las fibras son más abundantes

que en la especie roja y de pared muy gruesa. El conjunto de estas características influye en muchas propiedades de la madera (Kollman y Côté Jr., 1968; Jane, 1970; Panshin y de Zeeuw, 1970; De la Paz Pérez, 1985; Dinwoodie, 1975; Desch, 1991; De la Paz Pérez y Dávalos, 1995; De la Paz Pérez y Quintanar, 1997).

La anchura de los anillos de crecimiento es un carácter modificado por las condiciones ambientales y, junto con la porosidad anular o semi anular, se ve favorecida con las prácticas silvícolas, ya que se genera una dimensión homogénea de los anillos, aumentando el valor estético de la madera por su color, su veteado y su textura. Las propiedades tecnológicas afectan el peso y la dureza por la cantidad de fibras presentes en función de su separación.

La altura y anchura de los radios multiseriados ejercen un efecto en el veteado, en la textura y en las contracciones; estas últimas aumentan con la abundancia de fibras y de paredes gruesas, lo que repercute en el comportamiento de la madera durante el secado (Ávila, 1985; Bejar, 1985; De la Paz Pérez *et al.*, 2005).

Con relación a los contenidos celulares, la madera con abundancia de cristales exige un trato diferente frente a otras (Zavala, 2003), pues en el aserrio también deben considerarse el tamaño y la distribución de estos componentes. Las tilides están ligadas a la impermeabilidad, y estas estructuras, además de los taninos, a la resistencia a la pudrición.

Estos caracteres que varían entre subgéneros pueden cambiar dependiendo del sitio de recolección (De la Paz Pérez, 1985). Al analizar la literatura, la especie *Quercus magnoliifolia*, estudiada por Arcia (1979) y recolectada en Tejupilco cerca de la cañada de Nanchititla, Estado de México; las muestras tomadas en Leonardo Bravo, Guerrero, por Corral (1981) así como el material estudiado por Revuelta y Zamora (1990), en Morelia, Michoacán, revelaron una marcada diferencia de color entre albura y duramen, los vasos con abundantes tilides, los radios multiseriados muy altos y excesivamente anchos, con numerosos cristales prismáticos en ambos parénquimas. Corral (1981), además, identificó taninos en el parénquima.

Arcia (1979) identifica a *Quercus ochroestes* Warb (sinónimo de *Q. hintonii*) como un encino blanco; sin embargo, esta especie es un encino rojo, por lo que los datos anatómicos que registra no coinciden con los resultados obtenidos para *Q. hintonii* del presente estudio.

Al comparar los resultados de las dos especies estudiadas con otras del mismo género, el tipo de parénquima axial de *Q. hintonii* es semejante al de *Q. acutifolia* Née de Atoyac de Álvarez, Guerrero, *Q. candicans* Née de Villa Guerrero, Michoacán, *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl. de Mazamitla, Jalisco, *Q. laurina* Humb. et Bonpl. de Cd. Guzmán, Jalisco; *Q. mexicana* Humb. et Bonpl. de Huayacocotla, Veracruz (encinos rojos); *Q. excelsa* Liebm. de Zapotitlán, Jalisco; *Q. obtusata* Humb. et Bonpl. de Villa Madero, Michoacán y *Q. resinosa* Liebm. de Villa Madero,

Michoacán (encinos blancos), pero en *Q. hintonii* es más abundante. Para el caso de *Q. magnoliifolia* la poca diferencia de color entre albura y duramen, radios multiseriados bajos y muy anchos, pocas tñlides y pocos cristales son las características que difieren con la mayoría de las especies blancas e inclusive con otros ejemplares de la misma especie de otras localidades.

El estudio de la anatomía de la madera aporta información que permite sugerir un mejor aprovechamiento del recurso forestal y la aplicación adecuada de los procesos de transformación. A través de la investigación generada durante varias décadas, se resaltan las excelentes características anatómicas de la madera de encino y con base en ésta, se sugieren usos, sin embargo, a pesar de ello y de la amplia distribución nacional de este género, sigue siendo uno de los recursos forestales maderables al que no se le ha aplicado la tecnología apropiada ni los usos correctos.

Es urgente que se implementen acciones por parte de instituciones gubernamentales y no gubernamentales que contrarresten esta situación, interesando a los dueños del recurso en formar grupos de trabajo interdisciplinario que incluya aspectos sociales, políticos y económicos, de acuerdo al conocimiento técnico y de uso tradicional, además de generar proyectos que tramiten con diversas instancias apoyos financieros para desarrollar programas de aprovechamiento sustentable de los recursos. Con ello será factible lograr el rescate y la conservación de la flora y la fauna, el suelo, los mantos acuíferos, recuperar la calidad del aire y mejorar la vida de los habitantes de cada región.

Finalmente es importante señalar que en países norteamericanos, europeos y asiáticos, la madera de las especies del género *Quercus* es muy utilizada y comercializada (Rendle, 1969a y b, 1970; Jane, 1970; Panshin y de Zeeuw, 1970). A pesar de su abundancia, su distribución y las excelentes propiedades tecnológicas de su madera, en México es un recurso forestal maderable desaprovechado, siendo el carbón y la leña los usos más frecuentes (De la Paz Pérez *et al.*, 2000).

CONCLUSIONES

La madera de *Q. hintonii* se considera como una buena opción por su capacidad para ser sometida al maquinado, torneado, lijado, clavado y pegado, además de ofrecer un terminado suave y un pulido uniforme; mientras que la de *Q. magnoliifolia* es una madera resistente a diversos esfuerzos y a la pudrición.

Ambas especies se recomiendan para la elaboración de productos de alta calidad de acuerdo con su estructura, con el fin de integrar este valioso recurso a la actividad forestal.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al Sr. Patricio Reyes, dueño del bosque, las facilidades brindadas para la recolección del material de estudio, a la Bióloga Lourdes Aguilar la identificación de las especies y su asesoría en las características botánicas, al Sr. Jorge Lodigiani su ayuda en el procesado del material fotográfico y al Biólogo Miguel Bravo la elaboración de la Figura 1.

REFERENCIAS

- Aguilar E., Ma. de L. y S. Romero R. 1995. Estudio taxonómico de cuatro especies de encino (*Quercus*) descritas por Warburg. *Acta Botánica Mexicana* 31: 63-71.
- Arcia, G. D. 1979. Anatomía y características físicas de la madera de tres encinos del estado de México. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Edo. de México. México. 75 p.
- Ávila S., C. G. 1985. Secado en estufa de la madera aserrada de mezclas de encinos rojos y blancos. *In: Memoria del II Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos*. Guadalajara, Jal. 22-24 de mayo de 1985. Publicación Especial Núm. 49. INIF, SARH. México, D. F. México. pp. 218-228.
- Bejar, G. 1985. Algunas recomendaciones prácticas para la utilización de la madera de encino. *In: Memoria del II Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos*. Guadalajara, Jal. 22-24 de mayo de 1985. Publicación Especial. Núm. 49. INIF, SARH. México, D. F. México. pp. 380-386.
- Bucio, Y. 1985. Características anatómicas de la madera de cinco especies de encinos del estado de Michoacán. *Boletín Técnico*. Núm. 109. INIF, SARH. México, D. F. México. 50 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1998. Cuencas hidrológicas. México, D. F. Escala 1: 250,000.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. La diversidad biológica de México: estudio de país. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/312/bibliog.html> (Fecha de consulta: 28 de mayo de 2007).
- Corral, G. 1981. Anatomía de la madera de siete especies del género *Quercus*. *Boletín Técnico*. Núm. 72. INIF, SARH. México, D. F. México. 55 p.
- Cruz de León, J. 1995. Características anatómicas de cuatro especies de encinos del Sur de Nuevo León. *In: Memoria del III Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos*. 4-6 de noviembre de 1992. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. México. Tomo II. pp. 381-397.
- Chattaway, M. 1932. Proposed standards for numerical values used in describing wood. *Tropical Woods* 29: 20-28.

- De la Paz Pérez, O., C. y L. Aguilar E. 1978. Diferencias morfológicas externas y anatómicas de la madera de los encinos blancos y rojos. Boletín Técnico Núm. 109. INIF, SARH. México, D. F. México. 50 p.
- De la Paz Pérez O., C. 1985. Variación en la estructura anatómica de los encinos y su efecto en el aprovechamiento de los mismos. In: Memoria del II Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos. 22-24 de mayo de 1985. Guadalajara, Jal. México. Publicación Especial. Núm. 49. INIF, SARH. México, D. F. México. pp. 291-312.
- De la Paz Pérez O., C. y R. Dávalos S. 1995. Relación estructura propiedades de la madera de dos especies de *Quercus*. In: Memoria del III Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos. 4-6 de noviembre de 1992. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. México. Tomo II, pp. 427-441.
- De la Paz Pérez O., C. y A. Quintanar I. 1997. Las características tecnológicas de la madera. ContactoS 19:15-21.
- De la Paz Pérez O., C. 2000. Relación estructura propiedades físico-mecánicas de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 266 p.
- De la Paz Pérez O., C., R. Dávalos S. y E. Guerrero C. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino en México. Madera y Bosques 6(1): 3-13.
- De la Paz Pérez O., C. y A. Quintanar I. 2001. Características anatómicas de la madera de *Quercus castanea* Née, *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl. y *Q. laurina* Humb. & Bonpl. Rev. Cien. For. en Méx. 24(86): 95-107.
- De la Paz Pérez O., C., R. Dávalos S. y A. Quintanar I. 2005. Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos (*Quercus*) del estado de Durango, México. Madera y Bosques 11(2): 49-68.
- De la Paz Pérez O., C., S. Vélez J. y J. Ceja R. 2006. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del género *Quercus* (Fagaceae) del estado de Oaxaca. Madera y Bosques 4(2): 45-65.
- Desch, H. E. 1981. Timber: its structure, properties and utilisation. The Macmillan Press Ltd. London, UK. 410 p.
- Dinwoodie, J. M. 1975. Timber: a review of the structure-mechanical property relationship. Journal of Microscopy 104(1): 3-32.
- García, E. 1998. Climas. Clasificación de Köppen, modificado por García. CONABIO. México, D. F. Escala 1:1, 000,000.
- Global Trees Campaign 2005. Resources. *Quercus hintonii*. <http://www.global.tress.org/reso.asp?id=17> (Fecha de consulta: 28 de mayo de 2007).
- Gobierno del Estado de México. 2005. Diagnóstico ambiental. Región XII Tejupilco. <http://200.67.183.230/ZONADESCARGA/R12%20Tejupilco.pdf> (Fecha de consulta: 28 de mayo de 2007).

- González V., L. Ma. 1986. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de Jalisco. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botánica. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. México. 240 p.
- Guerrero, L. 1985. Descripción microscópica de la madera de 8 especies de encinos de la región de Cosautlán de Carvajal, Veracruz, México. *In*: Memoria del II Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos. 22-24 de mayo de 1985. Guadalajara, Jal. Publicación Especial Núm. 49. INIF, SARH. México, D. F. México. pp. 282-290.
- International Association of Wood Anatomists (IAWA) Committee. 1937. Standard terms of length of vessels members and wood fibers. *Tropical Woods* 51: 21-22.
- International Association of Wood Anatomists (IAWA) Committee. 1939. Standards terms of size for vessels diameter and ray width. *Tropical Woods* 59: 51-52.
- International Association of Wood Anatomists (IAWA) Committee. 1964. Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Verlagsanstalt, Switzerland. 186 p.
- International Association of Wood Anatomists (IAWA) Committee. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA* 10(3): 219-332.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2008. Estado de México. Ob.mx/geografia/espanol/estados/edomex (Fecha de consulta: 1 de octubre de 2008).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000a. Marco geoestadístico estatal del Estado de México. México, D. F. Escala 1: 250,000.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000b. Marco geoestadístico municipal del Estado de México. México, D. F. Escala 1: 250,000.
- Jane, F. W. 1970. The structure of wood. Adam & Charles Black. London, UK. 478 p.
- Johansen, D. A. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill Co. New York, NY. USA. 523 p.
- Kollman, F. P. and W. A. Côté, Jr. 1968. Principles of wood science and technology. Volume I: Solid wood. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany. 592 p.
- Kribs, D. A. 1968. Commercial foreign woods on the american market. Dover Publications, Inc. New York, NY. USA. 241 p.
- López, Ma. de los A. y Ma. de los A. Rechy. 1995. Estudio anatómico de la madera de dos especies de encino del sur de Nuevo León. *In*: Memoria del III Seminario Nacional Sobre Utilización de Encinos. 4-6 de noviembre de 1992. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. México. Tomo II. pp. 941-958.

- Martínez, M. 1981. Los encinos de México. Anales del Instituto de Biología, México. Serie Técnica Manejo No. 8. Comisión Forestal del estado de Michoacán. Morelia, Mich. México. 258 p.
- McVaugh, R. 1974. Flora Novo-Galiciana. Contrib. Univ. Mich. Herb. 12 part 1. (3): 1-93.
- Moreno, N. P. 1984. Glosario botánico ilustrado. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz, México. 300 p.
- Munsell. 1990. Munsell soil color charts. Baltimore, MD. USA. 17 p.
- Nixon, K. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot & J. Fa (Eds.) Biological Diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press. New York, NY. USA. pp. 447-458.
- Panshin, A. J. y C. de Zeeuw. 1970. Textbook of wood technology. I. McGraw-Hill Book Company. New York, NY. USA. 705 p.
- Rendle, B. J. 1969a. World timbers. 1. Europe & Africa. Ernest Benn Limited-University of Toronto Press. London, UK /Toronto, ON, Canada. 191 p.
- Rendle, B. J. 1969b. World timbers. 2. North and South America (including Central America and the West Indies). Ernest Benn Limited-University of Toronto Press. London, UK /Toronto, ON, Canada. 150 p.
- Rendle, B. J. 1970. World timbers. 3. Asia & Australia & New Zealand. Ernest Benn Limited-University of Toronto Press. London, UK /Toronto, ON, Canada. 175 p.
- Revuelta, Ma. de los M. y J. Zamora. 1990. Anatomía de la madera de seis especies de encinos (*Quercus* spp.) del municipio de Morelia, Michoacán. Tesis Profesional. Escuela de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 103 p.
- Reyes J., I. 2006. *Quercus hintonii* Warburg, especie endémica del encinar del SW del Estado de México. ContactoS 60: 64-72.
- Rodríguez A., M., A. Combes J. y H. Morales I. 2002. Distribución y caracterización del hábitat de *Quercus hintonii* en México. In: Memorias del XV Congreso Mexicano de Botánica. 14-19 de octubre de 2001. Querétaro, Qro. México. 545 p.
- Romero R., S., E. C. Rojas y D. C. Almonte. 2000. *Quercus hintonii* Warb. (Fagaceae) encino endémico de la Depresión del Balsas, México y su propagación. Polibotánica 11: 121-127.
- Romero, R. S., E. C. Rojas y Ma. de L. Aguilar E. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. Ann. Missouri Bot. Gard. 89: 551-593.
- Sandoval Z., E. 2005. Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Serie Cuadernos, Núm. 38. México, D. F. México. 278 p.
- Tortorelli, L. 1956. Maderas y bosques argentinos. ACME. Buenos Aires, Argentina. 910 p.

- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2005. <http://www.redlist.org> (28 de mayo de 2007).
- Zavala Ch., F. 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica* 8: 47-64.
- Zavala Z., D. 2003. Efecto del sistema de aserrio tradicional en las características de la madera de encino. *Madera y Bosques* 9(2):29-40.

NOTA TÉCNICA

ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS COMUNIDADES VEGETALES DEL ORÉGANO (*Lippia berlandieri* Schawer) EN MAPIMÍ, DURANGO, MÉXICO

Martín Martínez Salvador¹ y Diódoro Granados Sánchez²

RESUMEN

El orégano (*Lippia berlandieri*) es una especie nativa de las zonas semiáridas de México, es aprovechada de manera comercial para consumo nacional y de exportación. Conocer los atributos de las comunidades vegetales en las que habita favorece las prácticas de manejo y aprovechamiento sustentable. En el municipio de Mapimí, Dgo. se realizó un muestreo de vegetación a través de un gradiente orográfico estratificado en cuatro sistemas (cimas de sierras, bajadas, lomeríos y valles) para determinar las características ecológicas de las comunidades vegetales del área donde crece la especie. Los resultados muestran que el gradiente orográfico (cima – valle) es un patrón que define la distribución de las especies. En el sistema cimas de sierras, el orégano convive con matorral rosetófilo subinerme, en el que *Agave lechuguilla* tiene la mayor valor de importancia (70.34). En los sistemas bajadas de sierras y lomeríos se establece una triple asociación entre matorral rosetófilo, matorral micrófilo subinerme y matorral cracicaule. En estos dos sistemas el orégano registra altos valores de importancia (bajadas = 66.86 y lomeríos = 78.80). En los valles crece el matorral micrófilo inerme y subinerme con dominancia de *Larrea tridentata*; aquí el orégano presenta los valores más bajos (26.76). Esta información es útil para la toma de decisiones en el manejo y aprovechamiento del recurso en la región de estudio.

Palabras clave: Comunidad vegetal, Durango, gradiente orográfico, *Lippia berlandieri*, Mapimí, orégano.

Fecha de recepción: 27 de abril de 2006

Fecha de aceptación: 22 de septiembre de 2008

¹ Campo Experimental La Campana – Madera, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP. Correo-e: martinez.martin@inifap.gob.mx

² División de Ciencias Forestales. UACH. Chapingo, Edo. de Méx.

ABSTRACT

Lippia berlandieri is a native species of the semi-arid lands of Mexico, where it is commercially used both for domestic consumption and exportation. In order to take well informed decisions concerning the sustainable use and management practices of this species in the country, it is crucial to know the ecological conditions and the attributes of the plant communities in which oregano develops. Thus, vegetation sampling was conducted in the distribution area of wild oregano in the municipality of Mapimí, in the state of Durango, along an orographic gradient stratified into four systems (mountain summits, hillsides, small hills and valleys). Results show that the orographic gradient (mountain summit - valley) is a pattern which defines the distribution of these species. In the mountain summit system, wild oregano coexists with lechuguilla shrub, being *Agave lechuguilla* the species with the highest importance value (70.34). In the hillsides and small hills systems there is a triple association among lechuguilla, thorny shrub, and opuntia. In these two systems, wild oregano has high importance values (hillsides = 66.86 and small hills = 78.80). On the valleys, where crasote and thorny shrub grow, dominated by *Larrea tridentata*, wild oregano exhibits the lowest importance values (26.76). These data can be very useful for decision making regarding the management and use of this resource in the study area.

Key words: Plant community, Durango, orographic gradient, *Lippia berlandieri*, Mapimí, wild oregano.

Las comunidades vegetales en la región del Bolsón de Mapimí están compuestas por matorral xerófito, con especies que se distribuyen siguiendo gradientes orográficos y altitudinales (Martínez y Morillo, 1977; Barbault y Halfiter, 1981; Grenot, 1983). El 29% de las poblaciones están integradas por magueyerías, el 39% por nopalerías, el 13% está dominado por gobernadoras, del 15 al 18% está formado por pastizales de sabaneta y 27% por dunas (Grenot, 1983).

En el municipio de Mapimí, Dgo. las comunidades vegetales son utilizadas para alimentar al ganado (Marroquín *et al.*, 1981). Los principales recursos extraídos son nopales (*Opuntia* sp.), chamizos (*Atriplex* sp.), huizaches (*Acacia* sp.), mezquites (*Prosopis* sp.) y pastos (Rzedowski, 1978; Robledo, 1990; Alanís, 1998).

Una de las actividades económicas que se ha incrementado en la región a partir de 1990 es el uso comercial del orégano. Más de 90% del volumen aprovechado se exporta a los Estados Unidos de América (Martínez, 1997; 2000).

La falta de planeación en el aprovechamiento comercial de especies silvestres y el pastoreo son factores que promueven alteraciones en los ecosistemas (Dembélé *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2006; Navarro *et al.*, 2006; Zheng *et al.* 2006), por lo que es

importante conocer los atributos ecológicos de las comunidades vegetales y establecer programas que contemplen procesos de regeneración y promuevan la conservación de los componentes naturales (Valverde y Zavala, 2005).

El propósito de la presente investigación fue realizar una descripción de los atributos ecológicos de las poblaciones arbustivas que forman las comunidades vegetales en las que se desarrolla el orégano en el municipio de Mapimi, Durango. Se trabajó en cuatro sistemas orográficos (cimas de sierras, bajadas, lomeríos y valles) en donde se identificó el área de mayor abundancia del orégano, así como su valor de importancia en relación con atributos ecológicos del resto de las especies arbustivas de las diferentes comunidades vegetales. Esta información es de apoyo para la toma de decisiones en el manejo y aprovechamiento del recurso en la región.

El estudio se realizó entre 2001 y 2003. Para delimitar el área de distribución del orégano, se efectuó un reconocimiento preliminar del municipio con apoyo de cartas topográficas escala 1:50 000 (DETENAL, 1979) y fotografías aéreas escala 1:75 000. Se estratificó el territorio en función de un gradiente orográfico, estableciendo cuatro sistemas terrestres:

1. Cimas de sierras y cerros,
2. Bajadas de sierras y cerros,
3. Lomeríos y
4. Valles intermontanos y pie de monte).

Se aplicó un muestreo estratificado aleatorio calculado con la siguiente ecuación (Freese, 1969):

$$n = \frac{L \sum_{h=1}^L N_h^2 S_h^2}{N^2 D^2 + \sum_{h=1}^L N_h S_h^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra.

L = Número de estratos,

N_h = Tamaño total (número de unidades) del estrato h (1,2,...L),

D = Tamaño deseado del error estándar de la media,

s_h = Error estándar del estrato h y

s_h^2 = Varianza del estrato h .

Se muestrearon 104 sitios distribuidos aleatoriamente en cada sistema. Las unidades de muestreo consistieron en sitios circulares de 250 m² (Franco *et al.*, 2001), en las cuales se midieron:

- ♦ Localización
- ♦ Altitud
- ♦ Pendiente
- ♦ Número de especies
- ♦ Número de individuos por especie
- ♦ Diámetro de cobertura y
- ♦ Altura por cada individuo.

Con la información de campo se construyeron tablas de atributos ecológicos de las especies presentes en cada sistema (abundancia, frecuencia, dominancia). Se estimó el valor de importancia por especie. Las ecuaciones usadas para el análisis fueron las siguientes: (Franco *et al.*, 2001):

$$Den(Sp) = \sum_{i=1}^n den_i, \quad den_rel = \frac{\left(\sum_{i=1}^n den_i \right) \times 100}{\sum_{Sp=1}^n den}$$

$$Dom_Sp = \sum_{i=1}^n dom_i, \quad dom_rel = \frac{\left(\sum_{i=1}^n dom_i \right) \times 100}{\sum_{Sp=1}^n dom}$$

$$Frec_Sp = \sum_{i=1}^n frec_i, \quad frec_rel = \frac{\left(\sum_{i=1}^n frec_i \right) \times 100}{\sum_{Sp=1}^n frec}$$

$$Valor_import = \sum_{Sp=1}^n den_rel + \sum_{Sp=1}^n dom_rel + \sum_{Sp=1}^n frec_rel$$

Donde:

<i>i</i>	= Individuo <i>i</i> en la unidad de muestreo
<i>Sp</i>	= Especie <i>i</i> en la unidad de muestreo
<i>den</i>	= Densidad
<i>dom</i>	= Dominancia
<i>frec</i>	= Frecuencia
<i>Den (sp)</i>	= Densidad específica
<i>Den_rel</i>	= Densidad relativa
<i>Dom (sp)</i>	= Dominancia específica
<i>Dom_rel</i>	= Dominancia relativa
<i>Frec (sp)</i>	= Frecuencia específica
<i>Frec_rel</i>	= Frecuencia relativa
<i>Valor_import</i>	= Valor de importancia

En el área de distribución del orégano, se identificaron diferentes asociaciones vegetales donde las especies dominantes tienen un límite espacial definido por un gradiente orográfico delimitado por los sistemas terrestres estudiados (Cima – Valle). El promedio de número de plantas de orégano encontrado en las cimas de sierras fue de 5,208 plantas ha^{-1} , en bajadas de sierras de 7,812 plantas ha^{-1} , en lomeríos 6,354 plantas ha^{-1} y en los valles 1,363 plantas ha^{-1} .

Sistema de cimas de sierras

El sistema de cimas de sierras y cerros está constituido por un tipo de relieve abrupto, con ángulo de pendientes entre 30 y 45° y en ocasiones mayores; geología compuesta por rocas calizas, suelos muy someros del tipo litosoles, con relieve altamente accidentado y un alto contenido rocoso. Las alturas sobre este sistema van de los 1400 a los 1680 msnm.

En las cimas de cerros y sierras se desarrolla el matorral desértico rosetófilo subinermes, asociado con matorral cracicaule y matorral espinoso; la especie dominante es *Agave lechuguilla* Torr. con el mayor valor de importancia (70.34), después de *Lippia berlandieri*, le siguen *Fouquieria splendens* Engelm. con 36.36 y *Jatropha dioica* Sessé ex Cerv., con 23.16. En este sistema las especies más inconspicuas son las del matorral cracicaule como los nopales; tal fue el caso de *Opuntia violacea* Engelm. que registró un valor de importancia de 3.30 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Atributos ecológicos de las especies arbustivas en el sistema de cima de sierras y cerros.

Especie	Densidad	Frecuencia	Dominancia	Densidad relativa	Frecuencia relativa	Dominancia relativa	Valor de importancia
<i>Agave lechuguilla</i>	8437.500	0.667	987.927	41.538	10.526	18.277	70.342
<i>Lippia berlandieri</i>	5208.333	0.833	1128.958	25.641	13.158	20.886	59.685
<i>Fouquieria splendens</i>	416.667	0.500	1428.094	2.051	7.895	26.420	36.366
<i>Jatropha dioica</i>	1875.000	0.500	326.615	9.231	7.895	6.042	23.168
<i>Mimosa</i> sp.	833.333	0.500	327.323	4.103	7.895	6.056	18.053
<i>Viquiera brevifolia</i>	833.333	0.500	226.573	4.103	7.895	4.192	16.189
<i>Opuntia imbricata</i>	208.333	0.333	197.979	1.026	5.263	3.663	9.951
<i>Cordia greggii</i>	208.333	0.333	159.927	1.026	5.263	2.959	9.247
<i>Yucca rigida</i>	208.333	0.333	128.188	1.026	5.263	2.371	8.660
<i>E. antisyphilitica</i>	625.000	0.167	156.896	3.077	2.632	2.903	8.611
<i>Mamillaria</i> sp.	312.500	0.333	79.563	1.538	5.263	1.472	8.274
<i>Acacia berlandieri</i>	208.333	0.333	91.208	1.026	5.263	1.687	7.976
<i>Dasylirion texanum</i>	208.333	0.333	48.115	1.026	5.263	0.890	7.179
<i>Acacia mimosa</i>	416.667	0.167	78.688	2.051	2.632	1.456	6.139
<i>Opuntia rastrera</i>	104.167	0.167	17.302	0.513	2.632	0.320	3.464
<i>Opuntia microdasys</i>	104.167	0.167	13.090	0.513	2.632	0.242	3.387
<i>Opuntia violacea</i>	104.167	0.167	8.909	0.513	2.632	0.165	3.309
Total	20312.500	6.333	5405.353	100	100	100	300

*La información está referida a una hectárea de superficie.

La densidad del orégano en este sistema es relativamente alta (5208 plantas ha^{-1}), sin embargo, el nivel de dominancia es menor que en los otros sistemas, lo cual indica que en las cimas de sierras los arbustos de orégano tienen menor follaje y, por tanto, menor producción.

Sistema de bajadas de sierras

En el sistema de bajadas de sierras y cerros son comunes las pendientes mayores a 20° pero menores de 30° , y se extienden a sierras y cerros a lo largo de las sierras hasta llegar a los valles.

El tipo de vegetación que domina en este sistema es el matorral desértico rosetófilo asociado con matorral micrófilo subinermes y matorral espinoso. Las especies que caracterizan al matorral rosetófilo en estos sistemas son *Agave lechuguilla* (lechuguilla), *Dasylirion* sp. (sotol), *Yucca rigida* Stanley (palma rigida), *Hechita* sp. (guapilla). El matorral micrófilo subinermes lo componen *Lippia berlandieri* (orégano), *Acacia berlandieri* Benth. (huizache), *Flourensia cernua* DC. (hojasen), *Acacia vernicosa* (huizache), *Jatropha dioica* Sessé ex Cerv. (sangre de drago), *Fouquieria splendens* Engelm. (ocotillo), *Acacia mimosa*, *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. (candelilla) (Cuadro 2); también habitan algunas opuntias, como *Opuntia imbricata* (Haw.) DC. (cardenche), *Opuntia rufida* Engelm., *Opuntia violacea* Engelm., *Opuntia rastrera* F.A.C. Weber y algunas gramíneas llegan ocasionalmente a formar parte de estos ecosistemas, tal es el caso de *Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Griffiths y *Muhlenbergia* sp.

En esta comunidad el orégano se desarrolla con mayor densidad (7812 plantas ha^{-1}), y con una dominancia de 2 211 m^2 , casi el doble de la dominancia que presenta en las cimas (Cuadro 2).

Sistema de lomeríos

Los lomeríos en los que crece el orégano son elevaciones con cimas redondas y angulosas entre las principales sierras que atraviesan al municipio; estos lomeríos presentan un relieve con pendientes que van de 10° a 15° y en ocasiones en la parte de las cimas de los lomeríos se forman mesetas, donde las características del suelo son menos someras. La superficie que ocupa en el municipio este sistema en el que se distribuye *Lippia berlandieri* es de 71,999 ha en altitudes de los 1200 m a los 1380 m.

El tipo de vegetación que se desarrolla en los lomeríos corresponde a matorral desértico rosetófilo, que se caracteriza por la abundancia de *Agave lechuguilla*, asociado con matorral desértico micrófilo subinermes integrado por especies compuestas como las del género *Acacia* y algunas de *Opuntia*, que cuales se congregan en menor proporción.

Cuadro 2. Atributos ecológicos de las especies arbustivas en el sistema bajadas de sierras y cerros.

Especie	Densidad	Frecuencia	Dominancia	Densidad relativa	Frecuencia relativa	Dominancia relativa	Valor de importancia
<i>Agave lechuguilla</i>	11718.75	0.833	1178.047	41.436	13.793	14.655	69.885
<i>Lippia berlandieri</i>	7812.500	0.708	2211.656	27.624	11.724	27.513	66.862
<i>Fouquieria splendens</i>	468.750	0.333	1163.188	1.657	5.517	14.470	21.645
<i>Acacia</i> sp.	1406.250	0.667	429.344	4.972	11.034	5.341	21.348
<i>Acacia berlandieri</i>	625.000	0.333	894.484	2.210	5.517	11.128	18.855
<i>Flourensia cernua</i>	937.500	0.333	596.531	3.315	5.517	7.421	16.253
<i>Acacia vernicosa</i>	781.250	0.500	382.219	2.762	8.276	4.755	15.793
<i>Mamilaria</i> sp.	625.000	0.500	116.264	2.210	8.276	1.446	11.932
<i>Euphorbia antysiphilitica</i>	937.500	0.333	235.344	3.315	5.517	2.928	11.760
<i>Mimosa biuncifera</i>	625.000	0.333	247.033	2.210	5.517	3.073	10.800
<i>Jatropha dioica</i>	781.250	0.167	105.500	2.762	2.759	1.312	6.833
<i>Acacia mimosa</i>	625.000	0.167	118.031	2.210	2.759	1.468	6.437
<i>Yucca carnerosana</i>	156.250	0.167	120.266	0.552	2.759	1.496	4.807
<i>Yucca rigida</i>	156.250	0.167	103.859	0.552	2.759	1.292	4.603
<i>Opuntia imbricata</i>	156.250	0.167	97.203	0.552	2.759	1.209	4.520
<i>Opuntia ruffida</i>	312.500	0.167	16.797	1.105	2.759	0.209	4.073
<i>Opuntia rastrera</i>	156.250	0.167	22.688	0.552	2.759	0.282	3.593
Total	28281.25	6.042	8038.453	100	100	100	300

El orégano ocupa en este sistema el mayor valor de importancia (78.80), seguida por *Agave lechuguilla* (53.82) y *Fouquieria splendens* (21.86). El 50% de los individuos en esta topoforma lo constituyen el orégano y la lechuguilla (Cuadro 3).

Sistema de valles

Los valles intermontanos y pie de monte, que por sus características constituyen depresiones estrechas con forma de relieve negativo, tienen la misma orientación de las estructuras de la topografía que las determinan, corresponden a perfiles longitudinales relativamente suaves y se caracterizan por la ausencia de laderas erosivas, con pendientes no mayores a 10% y suelos con poca erosión, excepto en los lugares en los que se forman cárcavas por la acción de las lluvias.

Este sistema ocupa la superficie más pequeña en la que se distribuye el orégano dentro del territorio municipal, con una superficie de 53,850 ha. Se ubican en un intervalo de altitud de 1,050 a 1,200 m.

Las comunidades vegetales en este sistema son matorral desértico micrófilo subinermes y matorral desértico micrófilo inermes; el primero incluye las asociaciones entre *Larrea tridentata*-*Flourensia cernua*, *Parthenium incanum* Kunth., y *Cordia greggii* Torr. y algunas Acacias y *Lycium berlandieri*. En el segundo tipo las asociaciones entre *Larrea tridentata* y *Flourensia cernua*, *Cordia greggii* son las dominantes. En los valles del municipio de Mapimí, la gobernadora (*Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.)) es la especie más importante asociada con *Opuntia leptocaulis* DC. (Cuadro 4).

El valor de importancia del orégano en los valles es el más bajo (26.76) de los cuatro sistemas estudiados, además es un valor relativamente muy bajo si lo comparamos con el valor de importancia de *Larrea tridentata* que para este caso es de 84.25 (Cuadro 4), lo que indica que el orégano está presente de forma muy esporádica en los valles de la región.

Al analizar la estructura de la vegetación en los diferentes sistemas, se observa una diferencia en la distribución de las dos especies dominantes del paisaje municipal: *Agave lechuguilla*, que caracteriza al matorral rosetófilo de cimas de sierras y lomeríos, y a *Larrea tridentata* que identifica al matorral micrófilo en el sistema de valles. Por su parte, las nopaleras adquieren mayor importancia en las bajadas que en las cimas, y continúan hasta llegar al matorral de gobernadora en las depresiones y orillas de los arroyos.

Con base en todo lo anterior, se puede concluir lo siguiente:

En el municipio de Mapimí, Durango, el orégano se distribuye siguiendo un gradiente orográfico (cimas – valle), con una mayor densidad en las bajadas de sierras (7812 plantas ha⁻¹) y lomeríos (6354 plantas ha⁻¹), y una menor en

Cuadro 3. Atributos ecológicos de las especies arbustivas en el sistema de lomeríos.

Especie	Densidad	Frecuencia	Dominancia	Densidad relativa	Frecuencia relativa	Dominancia relativa	Valor de importancia
<i>Lippia berlandieri</i>	6354.167	0.792	1474.438	36.527	13.768	28.511	78.806
<i>Agave lechuguilla</i>	5208.333	0.708	597.865	29.940	12.319	11.561	53.820
<i>Fouquieria splendens</i>	312.500	0.292	775.458	1.796	5.072	14.995	21.864
<i>Viquiera brevifolia</i>	937.500	0.625	286.229	5.389	10.870	5.535	21.794
<i>Acacia berlandieri</i>	416.667	0.292	596.323	2.395	5.072	11.531	18.999
<i>Flourensia cernua</i>	625.000	0.375	397.688	3.593	6.522	7.690	17.805
<i>Acacia vernicosa</i>	520.833	0.458	254.813	2.994	7.971	4.927	15.892
<i>Mammillaria</i> sp.	416.667	0.500	77.500	2.395	8.696	1.499	12.589
<i>Mimosa biuncifera</i>	416.667	0.333	164.688	2.395	5.797	3.185	11.377
<i>E. antisiphilitica</i>	625.000	0.167	156.896	3.593	2.899	3.034	9.525
<i>Acacia mimosa</i>	416.667	0.208	78.688	2.395	3.623	1.522	7.540
<i>Jatropha dioica</i>	520.833	0.125	70.333	2.994	2.174	1.360	6.528
<i>Opuntia imbricata</i>	104.167	0.208	64.802	0.599	3.623	1.253	5.475
<i>Yucca carnerosana</i>	104.167	0.167	80.177	0.599	2.899	1.550	5.048
<i>Yucca rigida</i>	104.167	0.167	69.240	0.599	2.899	1.339	4.836
<i>Opuntia rastrera</i>	104.167	0.208	15.125	0.599	3.623	0.292	4.514
<i>Opuntia ruffida</i>	208.333	0.125	11.198	1.198	2.174	0.217	3.588
Total	17395.83	5.75	5171.458	100	100	100	300

*La información esta referida a una hectárea de superficie.

Cuadro 4. Atributos ecológicos de las especies arbustivas en el sistema valles.

Especie	Densidad	Frecuencia	Dominancia	Densidad relativa	Frecuencia relativa	Dominancia relativa	Valor de importancia
<i>Larrea tridentata</i>	3977.273	0.727	2848.693	32.407	13.559	40.391	84.254
<i>Jatropha dioica</i>	3693.182	0.545	1086.364	30.093	10.169	15.403	53.711
<i>Lippia berlandieri</i>	1363.636	0.455	557.477	11.111	8.475	7.904	26.769
<i>Flourensia cernua</i>	454.545	0.455	238.920	3.704	8.475	3.388	15.325
<i>Cordia greggii</i>	511.364	0.364	282.159	4.167	6.780	4.001	14.676
<i>Yucca filifera</i>	284.091	0.455	161.307	2.315	8.475	2.287	12.926
<i>Acacia berlandieri</i>	284.091	0.273	363.864	2.315	5.085	5.159	12.408
<i>Opuntia imbricata</i>	170.455	0.273	288.750	1.389	5.085	4.094	10.478
<i>Mimosa biuncifera</i>	284.091	0.182	305.057	2.315	3.390	4.325	9.880
<i>Mamilaria</i> sp.	227.273	0.364	41.364	1.852	6.780	0.586	9.098
<i>Opuntia leptocaulis</i>	227.273	0.273	157.102	1.852	5.085	2.228	9.044
<i>Fouquieria splendens</i>	56.818	0.091	337.443	0.463	1.695	4.785	6.912
<i>Opuntia violacea</i>	170.455	0.182	66.989	1.389	3.390	0.950	5.638
<i>Opuntia rufida</i>	227.273	0.182	7.330	1.852	3.390	0.104	5.225
<i>Acacia mimosa</i>	56.818	0.091	138.182	0.463	1.695	1.959	4.087
<i>Cordia alliodora</i>	56.818	0.091	58.977	0.463	1.695	0.836	2.964
<i>Yucca carnerosana</i>	56.818	0.091	43.693	0.463	1.695	0.620	2.747
<i>Yucca rigida</i>	56.818	0.091	37.727	0.463	1.695	0.535	2.663
<i>Acacia vernicosa</i>	56.818	0.091	23.125	0.463	1.695	0.328	2.456
<i>Opuntia rastrera</i>	56.818	0.091	8.239	0.463	1.695	0.117	2.245
Total	12272.727	5.364	7052.761	100	100	100	300

*La información esta referida a una hectárea de superficie.

sierras y cerros ($5,208$ plantas ha^{-1}), valles intermontanos y pies de monte (1363 plantas ha^{-1}).

En las partes altas, el orégano convive con el matorral rosetófilo subinerme, en el que *Agave lechuguilla* es la especie con un mayor valor de importancia y comparte su hábitat con *Lippia berlandieri*, *Fouquieria splendens* y *Mimosa* spp.

El número de comunidades arbustivas es mayor en lomeríos y bajadas. En estos sistemas se establece una triple asociación entre matorral rosetófilo, matorral micrófilo subinerme y matorral cracicaule.

En las bajadas de sierras y lomeríos el orégano presenta los más altos niveles de importancia.

En los valles se desarrolla el matorral micrófilo inerme y subinerme con asociaciones entre *Larrea tridentata*-*Cordia greggii*, *Larrea tridentata*-*Acacia* spp. y *Flourensia cernua* - *Opuntia leptocaulis*.

REFERENCIAS

- Alanís, G. L. 1998. Contribución al estudio de la calidad de aceites esenciales en orégano (*Lippia graveolens* H. B. K.). Tesis de Licenciatura, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. México. 56 p.
- Barbault, R. and G. Halfter. 1981. Ecology of the Chihuahuan Desert. Organization of some vertebrate communities. Man and the Biosphere Program. (AAB) UNESCO, Instituto de Ecología, A. C. México, D. F. México. 78 p.
- Dembélé, F., N. Picard, M. Karembé and P. Birnbaum. 2005. Tree vegetation patterns along a gradient of human disturbance in the Sahelian area of Mali. *Journal of Arid Environments*. 64 (2): 284-297.
- Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL). 1979. Carta topográfica G13-D25; D23; D24; D63; D64; D13; D14, escala 1:50 000.
- Franco L., J., A. G. Cruz, R. Rocha A., S. Navarrete N., M. Flores G., M. Kato E., C. Sánchez S., A. Abarca L. G. y S. Bedía C. M. 2001. Manual de Ecología. Editorial Trillas. México, D. F. México. 266 p.
- Freese, F. 1969. Elementary forest sampling. Agriculture Handbook No. 232. USDA. Forest Service. Washington, D. C. 91 p.
- Grenot, C. J. 1983. Desierto Chihuahuense. Fauna del Bolsón de Mapimí. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. México. 63 p.
- Li, X. R., Jia X. H. and Dong G. R. 2006. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. *Journal of Arid Environments*. 64 (3): 505-522.

- Marroquín, J. D., L. Borja G., C. Velásquez R. y C. De la Cruz. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Publicación Especial No. 2. 2ª reimpresión. INIF. SAG. México, D. F. México. 180 p.
- Martínez O., E. y J. Morillo. 1977. El medio físico y las unidades fisonómico-florísticas del Bolsón de Mapimí. Instituto de Ecología, A. C. México. 63 p.
- Martínez S., M. 1997. Caracterización y evaluación del potencial productivo de orégano (*Lippia berlandieri* Schawer) en el municipio de Mapimí, Durango. Tesis de Licenciatura, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas - Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. México. 72 p.
- Martínez S., M. 2000. Estudio sinecológico y económico del orégano en el municipio de Mapimí, Dgo. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 171 p.
- Navarro, T., C. L. Alados and B. Cabezudo. 2006. Changes in plant functional types in response to goat and sheep grazing in two semi-arid shrublands of SE Spain. *Journal of Arid Environments*. 64 (2): 298-322.
- Robledo A., M. A. 1990. Aspectos ecológicos y etnobotánicos del orégano silvestre en el altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 116 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D. F. México. 432 p.
- Valverde, P. L. and J. Zavala-Hurtado. 2005. Assessing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), a rare and threatened species endemic of the Tehuacán-Cuicatlán Region in Central Mexico. *Journal of Arid Environments*. 64 (2): 193-208.
- Zheng Y. R., Xie Z. X., Robert C., Jiang L. H. and Shimizu H. 2006. Did climate drive ecosystem change and induce desertification in Otindag sandy land, China over the past 40 years?. *Journal of Arid Environments*. 64 (3): 523-541.

ENSAYO

LA SÍNTESIS DE ISOPRENOIDES EN PLANTAS A TRAVÉS DE LA VÍA DEL 2C-METIL-D-ERITRITOL-4- FOSFATO (MEP)

Angeles Cancino-Rodezno¹

RESUMEN

Como organismos sésiles, las plantas han desarrollado una enorme plasticidad metabólica para contender con los distintos cambios en su entorno. Dicha plasticidad se ve reflejada en la gran variedad de compuestos orgánicos que son capaces de sintetizar; uno de ellos lo constituye la vasta familia de los isoprenoides, también llamados terpenoides, que son un grupo extenso de moléculas orgánicas que presentan una enorme diversidad estructural y funcional, sin embargo, todos tienen a los isómeros isopentenil difosfato (IPP) y dimetilalil difosfato (DMAPP) como precursores. Durante mucho tiempo se consideró a la ruta del Ácido Mevalónico como la vía universal para la síntesis de precursores isoprenicos; recientemente se descubrió la ruta alterna del 2C-metil-D-eritritol-4-fosfato (MEP), la cual es exclusiva de eubacterias y otros organismos con plástidos. Las plantas poseen ambas vías metabólicas, logrando así sintetizar cerca del 80% de los isoprenoides conocidos hasta el momento. Muchos de estos compuestos son metabolitos primarios implicados en funciones básicas como la respiración y la fotosíntesis, mientras que otros actúan como metabolitos secundarios (químicos ecológicos), y adicionalmente, algunos poseen un valor comercial. En este sentido, la ingeniería genética representa una poderosa herramienta para la producción biotecnológica de éstos. La elucidación de la vía MEP significa un hallazgo notable para el entendimiento de la manipulación de la biosíntesis de isoprenoides en las plantas, sin embargo resta por entender más sobre los mecanismos de control del flujo de sus intermediarios y sus posibles conexiones con otras rutas.

Palabras clave: Biotecnología, isoprenoides, metabolitos, plantas, vía MEP, vía mevalónica.

Fecha de recepción: 06 de noviembre de 2006.

Fecha de aceptación: 14 de noviembre de 2008.

¹ Instituto de Biotecnología, UNAM. Correo electrónico: selegna@ibt.unam.mx

ABSTRACT

As sessile organisms, plants developed a huge metabolic plasticity to contrarrest their changing environment, which is exhibited in the great variety of organic compounds that they can synthesize; one of them is the broad family of isoprenoids also known as terpenoids, which is a large group of organic molecules. Despite their structural and functional diversity, all isoprenoids come from the same two precursors: isopentenyl diphosphate (IPP) and its isomer dimethylallyl diphosphate (DMAPP). For a long time, the mevalonic acid pathway was thought to be the universal means to synthesize the isoprenic precursors, recently an option was discovered: the 2-C-methyl-D-erythritol 4-phosphate (MEP) pathway. This pathway is exclusive for eubacteria and organisms with plastids, including higher plants. In fact, plants use both pathways for the biosynthesis of isoprenoid precursors; about 80% of the known isoprenoids are produced by plants; their metabolic plasticity allows them to synthesize an impressive variety of compounds. Some of them act as primary metabolites, molecules involved in processes such as respiration, photosynthesis, etc., while others act as secondary metabolites (chemicals with ecological functions). Beyond their biological functions, some isoprenoids have a commercial value. In this regard, genetic engineering represents a powerful tool for directing the biotechnological production of such compounds. The elucidation of the MEP pathway has represented a quantum leap for the understanding and manipulation of isoprenoid biosynthesis in plants. However, much about the regulation mechanisms controlling the flux of intermediates through the pathway and its coordination with related metabolic routes remains to be understood.

Key words: Biotechnology, isoprenoids, metabolites, plants, MEP pathway, Mevalonic pathway

INTRODUCCIÓN

Como organismos sésiles, las plantas han desarrollado una enorme plasticidad metabólica para contender con los distintos cambios en su entorno. Dicha plasticidad se ve reflejada en la gran variedad de compuestos orgánicos que son capaces de sintetizar (Rodríguez-Concepción *et al.*, 2004); un buen ejemplo lo constituye la vasta familia de los isoprenoides, también llamados terpenoides, que aun al ser producidos por todos los seres vivos (Sacchettini y Poulter, 1997), cerca del 80% de esta diversidad molecular es exclusiva de los organismos vegetales (Eisenreich *et al.*, 2001). Debido a su abundancia y variabilidad, los compuestos isoprenicos desempeñan múltiples funciones (Cuadro 1).

Cuadro 1. Actividades biológicas de los isoprenoides en distintos organismos.

Funciones biológicas	
Hormonas	
en insectos	Feromonas, ecdisona
en mamíferos	Testosterona, Progesterona
en plantas	Giberelinas, ácido abscísico
Estabilizadores de membrana celular	
en bacterias	Hopanoídes
en eucariotes	Esteroles
Transportadores de electrones	
en mitocondrias y bacterias púrpuras	Ubiquinona
en cloroplastos y eubacteria	Plastoquinona
Fotosíntesis	
en plantas	Fitol Carotenoides
Químicos ecológicos	
Toxinas de hongos	Tricodienos
Atrayentes de polinizadores en plantas	Geraniol, limoneno, carotenos
Control de parásitos en plantas	Capsidiol (Fitoalexina)

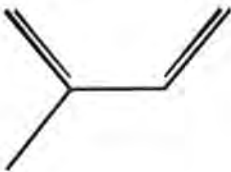
Su versatilidad funcional los convierte en excelentes candidatos para su explotación biotecnológica e industrial. Algunas aplicaciones biotecnológicas se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Aplicaciones biotecnológicas de los isoprenoides.

Aplicaciones biotecnológicas	
Medicina	
Antioxidantes	α tocoferol (vitamina E)
Anticancerígenos	Taxol
Antibióticos	Pentaleno, casbeno
Industria	
Producción de polímeros	Hule (cis-1,4-polisopreno)
Producción de fragancias y saborizantes	Mentol, citrónelol
Producción agrícola	Giberelinas
Alimentación humana	β -caroteno (pro-vitamina A)
Producción de colorantes	Astaxantina

Todos los isoprenoides comparten las mismas moléculas sillares: el isopentenil difosfato (IPP) y su isómero, el dimetilalil difosfato (DMAPP). Estas moléculas fueron descubiertas por Wallach, quien en 1914 notó que la mínima unidad en la que se podía disectar un producto isoprenoide funcional es una molécula de 5 carbonos (Cuadro 3). Esto le permitió establecer que todos los isoprenoides se generan por fusiones repetitivas de moléculas de 5 carbonos, conocidas como unidades isopreno; posteriormente, Ruzicka acuñó el término "Regla del Isopreno" para designar este fenómeno (Ruzicka, 1953). Las unidades isopreno además de tener la capacidad de fusionarse reiteradamente, pueden acoplarse a reacciones de reducción, de fosforilación y de ciclización, entre otras, y potencialmente sufrir rearrreglos de su esqueleto carbonado. Los isoprenoides se clasifican por el número de unidades de 5 carbonos que los constituyen (Barkovich y Liao, 2001), (Cuadro 3).

Cuadro 3.- Composición y nomenclatura de los isoprenoides.

Unidad isopreno C ₅	Número de unidades isopreno	Nombre
	C ₅	Hemiterpeno
	C ₁₀	Monoterpeno
	C ₁₅	Sesquiterpenos
	C ₂₀	Diterpenos
	C ₄₀	Tetraterpenos
	C _{40+n}	Politerpenos

La vía mevalónica y el descubrimiento de la vía MEP

En 1950, mediante investigaciones realizadas en animales y levaduras por Bloch, Cornforth, Lynen y su equipo de trabajo, se descubrió una ruta para la síntesis de IPP y DMAPP, que por emplear mevalonato fue denominada vía mevalónica (Bloch, 1992).

Desde entonces, una gran cantidad de investigaciones se enfocaron a dilucidar todas las reacciones de la vía del Mevalonato; en la actualidad todas las enzimas de esta ruta se han caracterizado funcionalmente y han sido identificadas como citoplasmáticas (Schulte *et al.*, 2000). El precursor inicial de esta vía es la Acetil Coenzima A (acetil-CoA); a partir de este compuesto se origina una serie de siete reacciones enzimáticas para formar el IPP y DMAPP y el listado de las enzimas involucradas en esta vía se reúnen en el Cuadro 4.

Durante mucho tiempo se asumió a la vía mevalónica como ruta universal para la síntesis de IPP, y por ende, se le consideró como precursora de todos los isoprenoides; sin embargo, varios resultados obtenidos a partir de ensayos realizados en plantas y bacterias no podían ser explicados mediante este proceso. Uno de los experimentos que dieron evidencia de la existencia de otra ruta y permitieron cuestionar al mevalonato como único precursor del IPP fue realizado con mevalonato marcado. Dicho experimento se llevó a cabo sobre células vegetales donde se encontró que el [C-14]-mevalonato era incorporado pobremente en isoprenoides ubicados en plástidos, pero lo hacía de modo eficiente en isoprenoides localizados en el citoplasma (Braithwaite y Goodwin, 1960).

Estudios posteriores con varias especies de plantas mostraron que la mevinolina, un inhibidor específico de la HMG reductasa y responsable de sintetizar el mevalonato, impedía la biosíntesis de isoprenoides citoplásmicos, pero no afectaba

Cuadro 4. Sustratos y enzimas de la vía mevalónica.

Sustratos	Enzimas
Acetil -CoA	Acetoacetil-CoA tiolasa (AACT)
Acetoacetil - CoA	3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA sintasa (HMGS)
3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA (HMG-CoA)	3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA reductasa (HMGR)
Mevalonato (MVA)	mevalonato cinasa (MC)
5-Fosfomevalonato (MVP)	5-fosfomevalonato cinasa (PMC)
5-Difosfomevalonato (MVPP)	5-difosfomevalonato descarboxilasa (DPMC)

ni la formación de las clorofilas ni de los carotenoides, ambos isoprenoides plástidicos (Bach y Lichtenthaler, 1982). La interpretación que se le dio por mucho tiempo a los resultados antes mencionados fue que tanto los precursores marcados, como la mevinolina no podían penetrar en los plástidos.

Actualmente todos los resultados que parecían incongruentes son explicados a través de la existencia de una ruta independiente para la biosíntesis de IPP, de DMAPP y en consecuencia, de los isoprenoides, es decir, la vía del 2C-metil-D-eritritol-4-fosfato (MEP). Los primeros datos relevantes que condujeron al descubrimiento de la vía MEP proceden de las investigaciones referentes a la biosíntesis de los hopanoides eubacterianos (Flesch y Rohmer, 1988; Rohmer *et al.*, 1993). En estos experimentos hechos con isótopos radioactivos se encontró un mismo patrón de marcaje en los distintos compuestos isoprenicos analizados, estableciéndose así que los carbonos C-3 y C-5 del IPP provienen del piruvato, mientras que los carbonos C-1, C-2 y C-4 del gliceraldehído 3-fosfato (G3P). De esta manera se concluyó que ambos compuestos son los precursores iniciales de la vía MEP (Rohmer *et al.*, 1993; Rohmer *et al.*, 1996).

La vía MEP

A la fecha existe información sobre todos los pasos enzimáticos de la vía no Mevalónica que conducen hacia la formación del IPP, así como de los genes codificantes para las 7 proteínas participantes de la vía MEP (Figura 1).

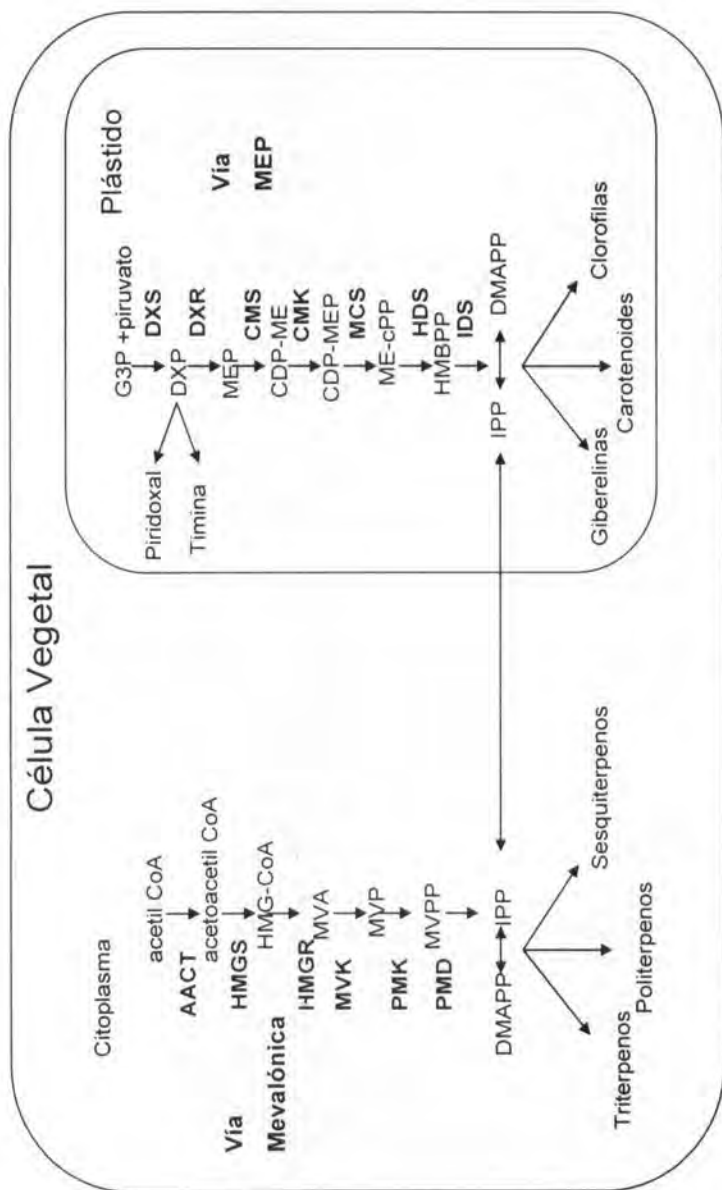


Figura 1. La vía mevalónica, sus enzimas y sustratos correspondientes, algunos productos finales y su distribución compartimentizada en la célula vegetal.

El piruvato y el G3P son transformados en 1-desoxi-D-xilulosa-5-fosfato (DXP), mediante una reacción catalizada por una proteína tipo transcetolasa. La búsqueda de la enzima específica capaz de llevar a cabo dicha reacción se realizó mediante la identificación de secuencias homólogas a transcetolasas en las bases de datos de *Escherichia coli* Mig. Las conclusiones de este estudio revelaron un marco de lectura abierto (ORF) de función desconocida en el genoma de la bacteria localizado justo a un lado del gen *ispA*, que codifica para la enzima farnesil difosfato y que es necesaria en la biosíntesis de algunos isoprenoides.

La presencia de este ORF junto al gen *ispA* como parte de un mismo operón sugirió que ambas proteínas podrían estar involucradas en la biosíntesis de IPP y de su isómero.

Dicho marco de lectura abierto se denominó *ispB* y fue expresado en *E. coli* y como se esperaba, la proteína recombinante catalizó la formación del DXP a partir del piruvato y el G3P (Sprenger *et al.*, 1997; Lois *et al.*, 1998). En la actualidad esta proteína es llamada 1-desoxi-D-xilulosa-5-fosfato sintasa (DXS). Se sabe que esta enzima también participa en la biosíntesis de las vitaminas tiamina (B1) y piridoxal (B6) en diferentes organismos a partir del precursor 1-desoxi-D-xilulosa (DX), por lo que la DXS no es una enzima específica de la ruta MEP (Kuzuyama, 2002). Se han encontrado secuencias ortólogas de la DXS en distintas bacterias y plantas pero no en genomas de animales ni de levaduras.

Esta distribución fue crucial en la búsqueda del resto de los genes y enzimas de la vía MEP. En *Arabidopsis thaliana* (L) Heynh se aisló una mutante albina, cuya afectación estaba en el gen *CLA1* (llamado así por Cloroplastos Alterados), que resultó ser ortólogo del gen DXS, previamente encontrado en bacterias (Mandel *et al.*, 1996; Estévez *et al.*, 2000; Araki *et al.*, 2000). Se ha logrado establecer que el genoma de *A. thaliana* contiene más de un gen para la enzima DXS (Rodríguez-Concepción y Boronat 2002), pero el resto de las enzimas de la vía MEP son codificadas por genes únicos, como lo evidenciaron análisis consecutivos.

Posteriormente se propuso que a partir del DXP se forma el compuesto 2C-metil-D-eritritol 4-fosfato (MEP) por un proceso de reducción (Rohmer *et al.*, 1996). Otros experimentos mostraron que el 2C-metil eritritol (ME) sintetizado químicamente era incorporado de forma directa en isoprenoides de *E. coli* (Duvold *et al.*, 1997). Posteriormente se identificó en *E. coli* al gen *yaeM* (ahora designado como *ispC*) (Takahashi *et al.*, 1998) que codifica para la proteína desoxi-D-xilulosa 5-fosfato reductoisomerasa (DXR) responsable del segundo paso catalítico de la vía MEP. Después tuvo lugar la identificación de las enzimas homólogas en plantas como *A. thaliana* (Schwender *et al.*, 1999).

Para la identificación del siguiente gen de la vía MEP se incubó el producto MEP marcado radiactivamente con extractos de *E. coli*, y se purificaron fracciones enzimáticas en las que se observó un compuesto nuevo que se producía cuando

la reacción contenía citidina trifosfato (CTP). Estos resultados condujeron a una búsqueda en la base de datos de enzimas que utilizaran la CTP y propusieron al gen *ygbP* de *E. coli*, cuya función era desconocida, como posible candidato. Además, los homólogos de *ygbP* se encontraban solamente en los genomas de eubacterias y plantas, lo que sugiere la posible participación de este gen en la vía MEP. Para confirmar esta hipótesis, el gen *ygbP* (ahora llamado *ispD*) se sobreexpresó en *E. coli*, donde la proteína recombinante purificada convirtió el compuesto MEP en presencia de la CTP en 4-difosfocitidil-2C-metil-D-eritritol (CDP-ME) (Rohdich *et al.*, 1999). Basado en su actividad enzimática se le dio el nombre de 4-difosfocitidil-2C-metil-D-eritritol sintasa (CMS); la misma proteína recombinante presenta igual función en *A. thaliana* (Rohdich *et al.*, 2000).

Con la información previa se realizaron análisis bioinformáticos para reconocer genes homólogos a *ispB*, *ispC* e *ispD* de *E. coli*. Se encontró un mismo patrón taxonómico de distribución para los genes anteriormente descritos para la vía MEP, el resultado de la comparación de genomas de eubacterias y plantas señaló un nuevo posible candidato, el gen *ychB* (ahora llamado *ispE*). El análisis de la secuencia de *ispE* mostró sitios putativos de unión para ATP. El gen *ispE* de *E. coli* fue sobre expresado para obtener la proteína recombinante 4-difosfocitidil-2C-metil-D-eritritol cinasa (CMK), capaz de realizar la fosforilación (dependiente de ATP) del compuesto CDP-ME para producir el intermediario 4-difosfocitidil-2C-metil-D-eritritol 2-fosfato (CDP-MEP) (Lüttgen *et al.*, 2000).

Para aislar las siguientes enzimas de la vía MEP se llevó a cabo la misma estrategia: búsqueda en las bases de datos de genes candidato que fueran comunes a los organismos con plástidos. Así, se identificó a *ygbB* (ahora llamado *ispF*) (Herz *et al.*, 2000). El gen *ispF* de *E. coli* fue sobreexpresado y la proteína recombinante resultó ser la 2C-metil-D-eritritol-2,4-ciclodifosfato sintasa (MECS) que participa en la formación de 2C-metil-D-eritritol 2,4-ciclodifosfato (ME-cPP) a partir del CDP-MEP. Los homólogos en plantas de la MECS mostraron péptidos putativos con señal de transporte a plástido (al igual las enzimas DXS, DXR, CMS y CMK) la cual les permite llevar a cabo su función dentro de dichos organelos (Herz *et al.*, 2000; Lüttgen *et al.*, 2000).

El gen de *E. coli* al que se nombró *gcpE* (*ispG*) fue adscrito a la vía MEP porque estaba conservado en las plantas y en las eubacterias, pero ausente en otros genomas analizados (Campos *et al.*, 2001). La correspondiente enzima convierte al intermediario ME-cPP en 1-hidroxi-2-metil-2-(E)-butenil 4-difosfato (HMB-PP) en *E. coli* por la enzima 1-hidroxi-2-metil-2-(E)-butenil 4-difosfato sintasa (HDS) (Wolff *et al.*, 2003). En el genoma de *A. thaliana* se identificó un gen homólogo a *ispG* capaz de complementar la mutante de *E. coli* deficiente en *ispG*. (Querol *et al.*, 2002).

Desde el inicio de su estudio en *E. coli* se asumió que el papel del entonces denominado gen *lytB* (*ispH*) podría circunscribirse a la vía MEP por su

distribución taxonómica. Estudios subsecuentes mostraron que una cepa de dicho microorganismo deficiente en *lytB* acumula grandes cantidades del compuesto HMB-PP y que la mutación en el gen *lytB* de eubacterias es letal para cianobacterias (Cunningham *et al.*, 2000). En *E. coli*, *lytB* codifica para la enzima (IDS) que convierte directamente al HMBPP en una mezcla 5:1 de IPP y DMAPP (Rohdich *et al.*, 2003). Posteriormente se ratificó su función en *A. thaliana* (Hsieh y Goodman, 2005). La actividad de esta enzima ha sido identificada como responsable de la síntesis simultánea de IPP y su isómero (Rodríguez-Concepción *et al.*, 2000).

Distribución filogenética de las vías MEP y mevalónica

Se piensa que las rutas metabólicas involucradas en la síntesis de isoprenoides fueron adquiridas por los organismos muy tempranamente en la evolución, porque son las biomoléculas más antiguas que se conocen. Los hopanoides bacterianos han sido encontrados en sedimentos fósiles de 2.5 miles de millones de años de antigüedad (Summons y Jahnke, 1990).

La historia evolutiva de las enzimas involucradas en las rutas mevalónica y MEP, así como la distribución filogenética de sus genes, sugieren que la primera tuvo su origen en las arqueobacterias, mientras que la segunda pudo tenerlo en eubacteria y, por lo tanto, la ruta MEP se heredó exclusivamente a eucariotes con plástidos, siendo las plantas los únicos organismos que incorporaron ambas rutas a su metabolismo. Hoy en día se ha logrado precisar la distribución en la naturaleza de las vías mevalónica y MEP; un esquema general se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Distribución taxonómica de las vías MEP y Mevalónica.

	Vía Mevalónica	Vía MEP
Arqueobacterias	X	
Eubacterias		X
Hongos	X	
Algas verdes		X
Animales	X	
<i>Plasmodium falciparum</i>		X
Plantas superiores	X	X

El hecho de que las enzimas de la vía MEP no tienen homología con proteínas de mamíferos resulta conveniente para el diseño de fármacos contra patógenos que poseen plástidos tales como *Plasmodium falciparum* Welch, el parásito que causa la malaria; *Toxoplasma gondii* Nicolle & Mauceaux causante de toxoplasma; *Salmonella enterica* Le Minor & Popoff y otros parásitos (Kuntz *et al.*, 2005) así como para herbicidas cuyo mecanismo carezca de toxicidad para humanos (Zeidler *et al.*, 2000; Cornish *et al.*, 2006).

Compartimentación entre las vías MEP y mevalónica en la célula vegetal

Las plantas superiores generan en los plástidos sólo una fracción del total de los isoprenoides que requieren y el resto lo forman en el citoplasma donde opera la ruta mevalónica. La síntesis de sesquiterpenos, triterpenos y politerpenos se realiza en el citoplasma por la vía mevalónica. En contraste, los monoterpenos, diterpenos y tetraterpenos son formados exclusivamente en los plástidos por la vía MEP (Figura 1). Se ha sugerido que existe intercomunicación entre ambas rutas para el intercambio de algún(os) intermediario(s) entre ellas. Experimentos de marcaje con [C13]-mevalonato en embriones de la planta *Ginkgo biloba* L. mostraron que cerca de 98% de los ginkgolidos, que son diterpenos, fueron formados a través de la vía MEP, y entre 1 y 2 % de los restantes provienen de la vía mevalónica (Arigoni *et al.*, 1997).

Otros experimentos también han sugerido el aporte de la vía MEP hacia la vía mevalónica. La primera es la ruta principal para la biosíntesis de ent-kaureno (precursor para la biosíntesis de giberelinas) en *A. thaliana*; también se ha demostrado una contribución parcial de la vía del mevalonato para el mismo fin (Kasahara *et al.*, 2002). Por su parte Nagata (2002) publicó que el ácido mevalónico restaura de manera parcial la producción de algunos isoprenoides plastídicos cuando la vía MEP está bloqueada; sin embargo, el drenado de una vía a la otra es mínimo. Además, recientemente se publicaron datos que sugieren que las membranas de los plástidos tienen un sistema unidireccional de vesículas para exportar IPP de manera eficiente hacia el citoplasma vegetal (Bick y Lange, 2003).

CONCLUSIONES

El estudio de la vía MEP resulta muy importante tanto por su contribución a la síntesis de isoprenoides indispensables para el desarrollo y crecimiento normal de las plantas, como por la producción de compuestos de gran interés comercial con alto potencial biotecnológico.

De la totalidad de productos isoprenicos con importancia para el hombre algunos son producidos únicamente por especies de plantas forestales, tal es el caso del antineoplásico taxol, que proviene de árboles del género *Taxus*.

El conocimiento sobre la ruta MEP ha permitido distinguir que los genes involucrados en la misma codifican enzimas sin homología con proteínas de mamíferos. Por tanto dichas proteínas son un blanco ideal para desarrollar fármacos de amplio espectro antimicrobial, así como herbicidas cuyo mecanismo carezca de toxicidad para humanos.

En la célula vegetal las proteínas de la vía mevalónica se localizan en el citoplasma y las enzimas involucradas en la vía MEP se importan desde el citoplasma hacia los plástidos donde llevan a cabo su función. Por lo tanto existe una compartimentación clara de ambas vías en las plantas.

Se han registrado resultados que apoyan la idea de que existe intercomunicación entre las rutas MEP y mevalónica dentro de la célula de las plantas; sin embargo, aún faltan por encontrar evidencias concluyentes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece enormemente a la Dra. Susana Azpiroz por sus atinadas sugerencias y recomendaciones para realizar la redacción de esta contribución a la revista Ciencia Forestal en México.

REFERENCIAS

- Araki N., K. Kusumi, K. Masamoto, Y. Niwa and K. Iba. 2000. Temperature sensitive *Arabidopsis* mutant defective in 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate synthase within the plastid non-mevalonate pathway of isoprenoid biosynthesis. *Physiol. Plant.* 108: 19-24.
- Arigoni, D., S. Sagner, C. Latzel, W. Eisenreich, A. Bacher and M. H. Zenk. 1997. Terpenoid biosynthesis from 1-deoxy-D-xylulose in higher plants by intramolecular skeletal rearrangement. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94:10600-10605.
- Bach, T. J. and H. K. Lichtenthaler. 1982. Mevinolin: A highly specific inhibitor of microsomal 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase of radish plants. *Z. Naturforsch.* 37c: 46-50.
- Barkovich, R. and J. C. Liao. 2001. Metabolic engineering of isoprenoids. *Metab. Eng.* 3, pp. 27-39.
- Bick, J. A. and B. M. Lange. 2003. Metabolic cross talk between cytosolic and plastidial pathways of isoprenoid biosynthesis: unidirectional transport of intermediates across the chloroplast envelope membrane. *Arch. Biochem. Biophys.* 415: 146-154.

- Bloch, K. 1992. Sterol molecule: structure, biosynthesis and function. *Steroids* 57(8):378-383.
- Braithwaite, G. D. and T. W. Goodwin. 1960. Studies on carotenogenesis 25. The incorporation of (1-¹⁴C) acetate, (2-¹⁴C) acetate and ¹⁴CO₂ into lycopene by tomato slices. *Biochem. J.* 76: 1-5.
- Campos, N., M. Rodríguez-Concepción, M. Seeman, M. Rohmer and A. Boronat. 2001. Identification of *gcpE* as a novel gene of the 2-C-methyl-D-erythritol 4-phosphate pathway for isoprenoid biosynthesis in *Escherichia coli*. *FEBS lett.* 488: 170-173.
- Cornish, R., J. R. Roth and C. D. Poulter. 2006. Lethal mutations in the isoprenoid pathway of *Salmonella enterica*. *J. Bacteriol.* 188(4): 1444-1450.
- Cunningham Jr., F. X., T. P. Lafond and E. Gantt. 2000. Evidence of a role for *LytB* in the nonmevalonate pathway of isoprenoid biosynthesis. *J. Bacteriol.* 182(20): 5841-5848.
- Duvold, T., P. Cali, J. M. Bravo and M. Rohmer. Incorporation in 2-C-methyl-D-erythritol, a putative isoprenoid precursor in the mevalonate-independent pathway, into ubiquinone and menaquinone of *Escherichia coli*. *Tetrahedron lett* 38: 6181-6184.
- Eisenreich, W., F. Rohdich and A. Bacher. 2001. Deoxyxylulose phosphate pathway to terpenoids. *Trends. Plant. Sci.* 6: 78-84.
- Estévez, J. M., A. Cantero, C. Romero, H. Kawaide, L. F. Jiménez, T. Kuzuyama, H. Seto, H. Kamiya and P. León. 2000. Analysis of the expression of *CLA1*, a gene that encodes the 1-deoxyxylulose 5-phosphate synthase of the 2-C-methyl-D-erythritol-4-phosphate pathway in *Arabidopsis*. *Plant. Physiol.* 124(1): 95-104.
- Flesch, G. and M. Rohmer. 1988. Prokaryotic hopanoids: the biosynthesis of the bacteriohopane skeleton. Formation of isoprenic units from two distinct acetate pools and a novel type of carbon/carbon linkage between a triterpene and D-ribose. *Eur J. Biochem.* 1, 175 (2): 405-411.
- Herz, S., J. Wungsintaweeikul, C. A. Schuhr, S. Hecht, H. Lüttgen, S. Sagner, M. Fellermeier, W. Eisenreich, M. H. Zenk, A. Bacher and F. Rohdich. 2000. Biosynthesis of terpenoids: YgbB protein converts 4-diphosphocytidyl-2C-methyl-D-erythritol 2-phosphate to 2C-methyl-D-erythritol 2,4-cyclodiphosphate. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97: 2486-2490.
- Hsieh, M. H. and H. M. Goodman. 2005. The *Arabidopsis* IspH homolog is involved in the plastid nonmevalonate pathway of isoprenoid biosynthesis. *Plant Physiol.* 138(2): 641-653.
- Kasahara, H., A. Hanada, T. Kuzuyama, M. Takagi, Y. Kamiya and S. Yamaguchi. 2002. Roles of the mevalonate and methylerythritol phosphate pathways in the biosynthesis of gibberellins in *Arabidopsis*. *J. Biol. Chem.* 2002 Nov 22; 277(47): 45188-45194.

- Kuntz L., D. Tritsch, C. Grosdemange-Billiard, A. Hemmerlin, A. Willem, T. J. Bach, and M. Rohmer. 2005. Isoprenoid biosynthesis as a target for antibacterial and antiparasitic drugs: phosphonohydroxamic acids as inhibitors of deoxyxylulose phosphate reducto-isomerase. *Biochem J.* 386(15 Pt 1): 127-135.
- Kuzuyama T. 2002. Mevalonate and nonmevalonate pathways for the biosynthesis of isoprene units. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 66(8):1619.
- Lois, L. M., N. Campos, S. R. Putra, K. Danielsen, M. Rohmer and A. Boronat. 1998. Cloning and characterization of a gene from *Escherichia coli* encoding a transketolase-like enzyme that catalyzes the synthesis of D-1-deoxyxylulose 5-phosphate, a common precursor for isoprenoid, thiamin, and pyridoxol biosynthesis. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 3,95(5):2105-2110.
- Lüttgen, H., F. Rohdich, S. Herz, J. Wungsintaweekul, S. Hecht, C. A. Schuhr, M. Fellermeier, S. Sagner, M. H. Zenk and A. Bacher. 2000. Biosynthesis of terpenoids: YchB protein of *Escherichia coli* phosphorylates the 2-hydroxy group of 4-diphosphocytidyl-2-C-methyl-d-erythritol. *Proc Natl Acad Sci* 97: 1062-1067.
- Mandel, M. A., K. A. Feldmann, L. Herrera-Estrella, M. Rocha-Sosa and P. León. 1996. CLA1, a novel gene required for chloroplast development, is highly conserved in evolution. *Plant J.* 9: 649-658.
- Nagata N., M. Suzuki, S. Yoshida and T. Muranaka. 2002. Mevalonic acid partially restores chloroplast and etioplast development in *Arabidopsis* lacking the non-mevalonate pathway. *Planta* 216(2):345-50.
- Querol, J., N. Campos, S. Imperial, A. Boronat and M. Rodríguez-Concepción. 2002. Functional analysis of the *Arabidopsis thaliana* GCPE protein involved in plastid isoprenoid biosynthesis. *FEBS letters* 514: 343-346.
- Rodríguez-Concepción M., N. Campos, L. M. Lois, C. Maldonado, J. F. Hoeffler, C. Grosdemange-Billiard, M. Rohmer and A. Boronat. 2000. Genetic evidence of branching in the isoprenoid pathway for the production of isopentenyl diphosphate and dimethylallyl diphosphate in *Escherichia coli*. *FEBS lett.* 19:473(3):328-32.
- Rodríguez-Concepción M. and A. Boronat. 2002. Elucidation of the methylerythritol phosphate pathway for isoprenoid biosynthesis in bacteria and plastids. A metabolic milestone achieved through genomics. *Plant Physiol.* 130(3): 1079-1089.
- Rodríguez-Concepción, M., O. Flores, J. F. Martínez-García, V. González, M. A. Phillips, A. Ferrer and A. Boronat. 2004. Distinct light-mediated pathways regulate the biosynthesis and exchange of isoprenoid precursors during *Arabidopsis* seedling development. *Plant Cell.* 16(1):144-156.
- Rohdich, F., J. Wungsintaweekul, M. Fellermeier, S. Sagner, S. Herz, K. Kis, W. Eisenreich, A. Bacher and M. H. Zenk. 1999. Cytidine 5'-triphosphate-dependent biosynthesis of isoprenoids: YgbP protein of *Escherichia coli* catalyzes the formation of 4-diphosphocytidyl-2-C-methylerythritol. *Proc Natl Acad Sci* 96:11758-11763.

- Rohdich F., J. Wungsintaweeikul, W. Eisenreich, G. Richter, C. A. Schuhr, S. Hecht, M. H. Zenk and A. Bacher. 2000. Biosynthesis of terpenoids: 4-diphosphocytidyl-2C-methyl-D-erythritol synthase of *Arabidopsis*. Proc. Natl. Acad. Sci. 97(12):6451-6456.
- Rohdich, F., S. Hecht, A. Bacher and W. Eisenreich. 2003. Deoxyxylulose phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis. Discovery and function of *ispDEFGH* genes and their cognate enzymes. Pure Appl. Chem. 75: 393-405.
- Rohmer, M., M. Knani, P. Simonin, B. Sutter and H. Sahn 1993. Isoprenoid biosynthesis in bacteria: A novel pathway for the early steps leading to isopentenyl diphosphate. Biochem. J. 295: 517-524.
- Rohmer, M., M. Seeman, S. Horbach, S. Bringer-Meyer and H. Sahn. 1996. Glyceraldehyde 3-phosphate and pyruvate as precursors of isoprenic units in an alternative non-mevalonic pathway for terpenoids biosynthesis. J. Amer. Soc. 118: 2564-2568.
- Ruzicka, L. 1953. The isoprene rule and the biogenesis of terpenic compounds. Experientia 9: 357-367.
- Sacchettini, J. C. and C. D. Poulter. 1997. Creating isoprenoid diversity. Science 277: 1788-1789.
- Schulte A. E., R. Van der Heijden and R. Verpoorte. 2000. Purification and characterization of mevalonate kinase from suspension-cultured cells of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. Arch Biochem Biophys. 378(2):287-298.
- Schwender J., C. Muller, J. Zeidler and H. K. Lichtenthaler. 1999. Cloning and heterologous expression of a cDNA encoding 1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate reductoisomerase of *Arabidopsis thaliana*. FEBS Lett. 455(1-2): 140-144.
- Sprenger, G. A., U. Schorken, T. Wiegert, S. Grolle, A. A. de Graaf, S. V. Taylor, T. P. Begley, S. Bringer-Meyer and H. Sahn. 1997. Identification of a thiamin-dependent synthase in *Escherichia coli* required for the formation of the 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate precursor to isoprenoids, thiamin, and pyridoxol. Proc. Natl. Acad. Sci. 94:12857-12862.
- Summons, R. E. and L. L. Jahnke. 1990. Identification of the methylhopanes in sediments and petroleum. Geochim. Cosmochim. Acta. 54: 247-51.
- Takahashi, S., T. Kuzuyama, H. Watanabe and H. Seto. 1998. A 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate reductoisomerase catalyzing the formation of 2-C-methyl-D-erythritol 4-phosphate in an alternative nonmevalonate pathway for terpenoid biosynthesis. Proc. Natl. Acad. Sci. 95: 9879-9884.
- Wolff, M., M. Seemann, B. Tse Sum, Y. Frapart, D. Tritsch, A. Garcia Estrabot, M. Rodriguez-Concepcion, A. Boronat, A. Marquet and M. Rohmer. 2003. Isoprenoid biosynthesis via the methylerythritol phosphate pathway: the (E)-4-hydroxy-3-methylbut-2-enyl diphosphate reductase (LytB/IsprH) from *Escherichia coli* is a [4Fe-4S] protein. FEBS Lett. 541(1-3):115-20.
- Zeidler J., J. Schwender, C. Muller and H. K. Lichtenthaler. 2000. The non-mevalonate isoprenoid biosynthesis of plants as a test system for drugs against malaria and pathogenic bacteria. Biochem. Soc. Trans. 28: 796-798.

ENSAYO

INDICADORES AMBIENTALES: LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Carlos Mallén Rivera¹

RESUMEN

Clarificar el objetivo del manejo sustentable obliga a la consideración de las opiniones interesadas a través de un proceso político, al involucrar la valoración de diversos beneficios y costos. Cuando las condiciones demográficas, económicas y sociales cambian con el tiempo, también varía la apreciación de las diferentes ventajas obtenidas de los recursos naturales. Por eso, el uso que de ellos se haga debe orientar la planeación estratégica y operativa del medio. Los indicadores ambientales facilitan la definición del concepto de sustentabilidad y ayudan en la determinación del intervalo de valores a considerar, así como de los procedimientos para evaluar el manejo; al relacionarse con un elemento clave de sustentabilidad, se constituyen como herramientas para la evaluación y seguimiento de las tendencias. Su propósito es promover prácticas mejoradas de operación; además del desarrollo de técnicas más productivas de aprovechamiento y con mayor capacidad para satisfacer necesidades ecológicas, sociales y culturales, de acuerdo al marco institucional, a las políticas nacionales y a los apoyos financieros. En una escala mundial han trascendido iniciativas internacionales que validan procedimientos que se replican de una región a otra, proceso fundamental para diferentes ámbitos socioeconómicos y ecológicos de algunos países como México; a partir de ello se formulan normas nacionales de monitoreo de la sustentabilidad relacionadas con el conocimiento de la dinámica humana que se ejerce sobre el entorno natural.

Palabras clave: Criterios, evaluación, indicadores ambientales, manejo, recursos naturales, sustentabilidad.

Fecha de recepción: 02 de octubre de 2006.

Fecha de aceptación: 15 de octubre de 2008.

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

ABSTRACT

To clarify the purpose of environmental sustainable management makes it mandatory to consider those concerned opinions through a political process, when the assessment of several benefits and costs are involved. When the demographic, economic and social conditions change, also does the assessment of the different benefits that natural resources provide. Thus, its management must guide the strategic and operational planning of the environment. Environmental indicators favour the definition of the concept of sustainability and help to determine the range of values as well as the procedure to evaluate management. Each indicator relates to a key element of sustainability, thus becoming a tool for assessment and monitoring of tendencies. As a whole, their aim is to promote improved management practices and the development of more productive resources with a broader ability to attend diverse demands (environmental, social and cultural) according to national policies, financial support and the institutional framework. As they are so important, several international initiatives have been proclaimed that validate procedures there being adopted in other countries, like Mexico, as a basic process for different social, economic and ecological environments; from this starting point, local sustainability monitoring regulations related to the human dynamics that affect the natural surroundings have been established.

Key words: Criteria, assessment, environmental indicators, management, natural resources, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Estrechar el vínculo entre población y su entorno demanda superar métodos tradicionales de tipo cuantitativo y cualitativo, para lo cual se debe recurrir a esfuerzos interpretativos que permitan esclarecer la intrincada red de mecanismos que promueven la sustentabilidad, tanto a escala política como social y cultural, con el fin de jerarquizar los problemas ambientales y definir sus implicaciones y consecuentes alternativas de solución (Izazola, 1999). Así, detalles en la gestión del medio pasarían inadvertidos en investigaciones que trataran, en general, de dar cuenta de la dimensión subjetiva y, en particular, de las percepciones del entorno a través de enfoques convencionales.

Por ello, se plantean diversas y novedosas incógnitas metodológicas sobre el diseño de cuestionarios no sesgados e integrales o bien planteamientos respecto a la diversidad intrínseca de las entidades objeto de estudio; pero sobre todo, su relación con la propia diversidad natural. Dicha complejidad ha sido abordada desde diferentes perspectivas.

- El ambiente natural. Referido a los componentes bióticos y abióticos que rodean al hombre.

- El ambiente físico. Comprende la infraestructura natural (agua, aire, suelo, clima, plantas y animales), y la construida (ciudad, campo, ambiente de trabajo, higiene), que determinan la calidad de vida.
- El ambiente social. Enfatiza la calidad y tipo de relaciones personales, como el trabajo, la educación, la cultura; además de su accesibilidad.
- El ambiente socio-natural. Vincula humanidad-naturaleza y surge por el reconocimiento del daño ocasionado al medio sobre todo en las últimas décadas. Parte de suponer que el hombre ha llegado a los diversos ecosistemas para apropiarse de los recursos.
- El ambiente global. De acuerdo con esta concepción, el mundo y su preservación es responsabilidad humana; sin embargo, rara vez se toman en cuenta las causas (dominación y explotación de los recursos naturales) del deterioro ambiental.
- El ambiente cercano. Destaca la participación del individuo para influir en su entorno (Mallén, 2005).

Un aspecto principal dentro de la sustentabilidad es la definición de indicadores que permitan la caracterización del estado de los recursos, la población, la economía y el territorio donde tienen su expresión última, lo que se logra a través de la identificación de los elementos esenciales, del conjunto de condiciones o procesos mediante los cuales es posible evaluarlos. Los indicadores, a su vez, describen y cuantifican a los criterios por medio de tasas, cocientes e índices (Proceso de Montreal, 1995).

Los indicadores revelan condiciones y tendencias útiles en la toma de decisiones para la planeación territorial; de ahí su importancia en el marco de acuerdos regionales y mundiales, como los establecidos en el Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable, conocido como la Agenda 21. Su aplicación facilita el desarrollo e integración de mejores colecciones de datos ecológicos, económicos y sociales; así como, la elaboración de informes periódicos sobre condiciones y tendencias, con énfasis en los aspectos antes enunciados (Palacio – Prieto *et al.*, 2004).

Múltiples instituciones y equipos científicos han propuesto indicadores de este tipo con alcance mundial, regional, nacional y local. Al respecto, son aportes relevantes el Forest Resources Assessment (FAO, 2001); el Consejo Canadiense de Ministros de Bosques (CCFM, 1997); el Centro Internacional de Investigación Forestal (CIFOR, 1999); los indicadores del desarrollo sustentable ONU (UNO, 2000), OECD (2001) y USDA (2002), por citar algunos ejemplos. Destacan en el ámbito global los procesos de Helsinki, que tiene sus raíces en la primera Conferencia Ministerial para la protección de los bosques de Europa, celebrada en

la ciudad de Estrasburgo (1990), el de Montreal grupo de trabajo sobre criterios e indicadores aceptados internacionalmente para la conservación y el manejo sustentable de los bosques templados y boreales, creado en Ginebra, Suiza (junio de 1994), el cual representa una de las principales metodologías encaminadas a la evaluación de la sustentabilidad de las áreas forestales y es el formato base al que se ajustan los países participantes que comparten el hecho de poseer 90% de los bosques templados y boreales del planeta

Recientemente en México CESPEDS (2001), Massera *et al.* (1999, CONAPO (2000, 2001), INEGI-INE (2000) y los gobiernos de los estados de Jalisco (2001) y Querétaro (2002), han desarrollado indicadores orientados a la descripción de las condiciones naturales y socioeconómicas de su territorio y sus recursos.

Los cambios en los valores de los indicadores revelan si un predio determinado o aún el país se acerca o aleja de la sustentabilidad. Su significado va más allá de la estadística misma, al proveer información que constituye una medida de la efectividad de las políticas, lo que se conoce como "desempeño ambiental".

Los indicadores se presentan en forma de cuadros o gráficos y se complementan con textos y mapas. Su formulación se ha dirigido principalmente hacia la consecución de tres objetivos para alcanzar el desarrollo sustentable: 1) Proteger la salud humana y el bienestar general de la población; 2) Garantizar el aprovechamiento persistente de los recursos y 3) conservar la integridad de los ecosistemas.

Este proceso significa la consolidación de una herramienta fundamental para mejorar la base de la información ambiental de un lugar en particular; para promover la percepción pública sobre los problemas, evaluar condiciones y tendencias ambientales a escalas regional, nacional o global; favorecer la integración de los factores ambientales en las políticas económicas; cumplir con los compromisos internacionales, o bien para realizar análisis comparativos entre países y regiones. Los indicadores se interpretan como un sistema de señales que evalúa el progreso de países, regiones, estados, localidades e incluso organizaciones, predios y empresas en términos de sustentabilidad. Son herramientas concretas que apoyan el diseño y evaluación de la política pública y la organización privada, fortaleciendo decisiones informadas; así como la participación ciudadana.

Sin embargo, al constituir todavía un tema emergente en el mundo, algunos países tienen mayores avances, pues mientras unos definen sus indicadores, otros se afanan desde el enfoque de la sustentabilidad, vinculando las dimensiones económica, social, ecológica e institucional; en esta situación está México.

Complejidad de la evaluación

Los patrones actuales de uso enfrentan a la sociedad junto con sus sistemas económicos y políticos a una disminución de la capacidad de los ecosistemas para producir su amplio espectro de bienes y servicios, desde agua limpia hasta un clima estable; madera o hábitats para la vida silvestre. Hecho que obliga a reorientar la concepción misma de esas entidades hacia la adopción de decisiones sobre el uso del suelo y los recursos en términos de cómo afecta su potencial para mantener tanto el bienestar humano, como la salud y la productividad de plantas, animales y, en general de los sistemas naturales.

Conservar dicha capacidad es la clave para el desarrollo humano, representa la posibilidad para superar la pobreza, salvaguardar la biodiversidad y enfilar hacia un futuro sustentable, el cual es de difícil predicción en la geopolítica actual.

La reducción de la productividad de los ecosistemas conlleva costos humanos devastadores. Los estratos rurales de menor ingreso son los primeros y más directamente afectados, en la medida en que dependen de ellos para su subsistencia y la obtención de ingresos. Al mismo tiempo, son los que menos control ejercen sobre los usos que se les confiere a esos ecosistemas o sobre quién recibe los beneficios generados. En muchas áreas, la disminución de la producción agrícola, del suministro de agua dulce, del rendimiento de la madera y de la pesca tiene repercusión significativa para las economías locales. Si permanece este patrón de deterioro, la pérdida de ambientes saludables actuará como freno, no sólo de las economías locales, sino también del desarrollo nacional y mundial (Cuadro 1).

El desafío de evaluar la condición o salud general de un ecosistema es enorme. Los indicadores disponibles proporcionan apenas una descripción parcial del panorama. Algunos de ellos son el crecimiento demográfico, el aumento en el consumo de recursos, la contaminación y el aprovechamiento excesivo; la extensión de los ecosistemas, su tamaño, ubicación, distribución; además de, la generación y valor total de los diversos bienes económicos que originan.

La información sobre la producción en los distintos ecosistemas proporciona una idea incompleta de cómo funcionan porque, regularmente, no se compila ese tipo de datos para servicios básicos no comercializables como la purificación del agua o la protección ante la acción de tormentas, pese a que en ocasiones éstos son los más valiosos. Más aún, ninguno de los indicadores tradicionales arroja datos referentes a la capacidad del ecosistema para continuar proporcionando esos bienes y servicios que ayudan a sostener la vida. Además deben probar el estatus de los factores físicos y su estado biológico, por ejemplo: la fertilidad del suelo. Por lo general sólo existen referencias para juzgar la capacidad de un ecosistema para determinadas áreas o especies; y aun cuando se dispone de información, las complejas interacciones entre sus elementos y la manera como la afectan son confusas. Tales indicadores representan la frontera de la evaluación de ecosistemas y uno de sus aspectos más problemáticos.

Cuadro 1. Principales bienes y servicios suministrados por los ecosistemas forestales así como presiones inducidas por los humanos.

Ecosistemas forestales		
Bienes: madera, leña, agua para beber y de riego, forraje; productos no maderables (fibras, lianas bambúes, palma, miel, hongos, frutas, hojas, flores, carne de caza, etc.), recursos genéticos		
Servicios:	Presiones:	Causas:
▪ Eliminación de contaminantes atmosféricos; emiten oxígeno ▪ Ciclo de nutrimentos ▪ Mantenimiento de las funciones de la cuenca (filtración, purificación, control de flujo, estabilización del suelo). ▪ Mantenimiento de la biodiversidad ▪ Fijación del carbono de la atmósfera ▪ Moderación de rigurosidades e impactos ambientales ▪ Generación de suelo ▪ Proporcionan empleo ▪ Suministran hábitats para humanos y fauna silvestre ▪ Aportan disfrute estético y oportunidades de entretenimiento.	▪ Conversión y fragmentación como resultado de usos agrícolas e industriales ▪ Deforestación y pérdida consecuente de biodiversidad, liberación del carbono fijado y contaminación del aire y agua ▪ Lluvia ácida por la contaminación industrial ▪ Invasión de especies no nativas ▪ Extracción excesiva de agua para usos agrícolas, urbanos e industriales	▪ Aumento de la población ▪ Creciente demanda de madera, pulpa, y otras fibras ▪ Subvenciones gubernamentales para la extracción de madera y construcción de carreteras para el transporte de las trozas ▪ Valoración inadecuada de los costes de la contaminación industrial del aire ▪ Pobreza y tenencia precaria de la tierra

Fuente: Mallén, 2005.

Origen de los conceptos

La historia humana es la crónica de las relaciones que el hombre establece con su ambiente, superando el paradigma de que él es reflejo de su medio en el sentido biológico; se plantea, entonces, la dificultad de acotar el concepto "medio ambiente". De manera amplia, Monod (Boada, 2003) lo definió como aquel que describe a toda la sociedad: instituciones, cultura, naturaleza, hábitat, ciudad, economía y técnica. Para la UNESCO es un sistema multidimensional de relaciones complejas en estado continuo de cambio (Carrizo *et al.*, 2004).

La teoría de los sistemas vivos utiliza el término medio ambiente como el más apropiado para el estudio de la ecología. Tiene sus raíces en diferentes campos científicos de la biología, psicología *gestalt*, teoría del sistema general y la cibernética. La teoría de sistemas enseña que aunque se distinguen partes en cualquier sistema vivo, la naturaleza del todo es distinta a la suma de las partes, porque comparten una serie de propiedades y principios de organización (interacciones e interdependencias) que los convierten en estructuras específicas. Dicha teoría parte de la paradoja de que la búsqueda de lo elemental, no da respuesta a los enigmas de la organización compleja y altamente integradora de los sistemas vivos; el nivel molecular no recapitula toda la lógica de la vida. Por lo tanto es preciso un nuevo lenguaje, el cual surgió durante el último cuarto del siglo XX, bajo denominaciones como teorías de los sistemas dinámicos y de la complejidad; así como, las dinámicas no lineales y de redes; comprende conceptos clave presentados en intentos integradores por autores como Capra (1998) bajo un único contexto que abarca de las estructuras disipativas de Prigogine; a la teoría de las redes autopoéticas de Fleischaker y Varela, la ciencia cognitiva y sus aplicaciones, los objetos fractales y las matemáticas de la teoría de la complejidad; la teoría Gaia de Lynn Margulis y la teoría del caos.

Algunas de las características de la sociedad contemporánea son el progreso sin precedentes alcanzado en la calidad de vida; pero que ha implicado el detrimento de la hidrósfera, la biósfera y la estratósfera, traducido en un intenso deterioro y un desgaste como nunca antes visto. En el momento actual también se plantea el análisis desde una perspectiva de cambio global, tanto del problema mismo como de las propuestas estratégicas de desarrollo (Cuadro 2).

Origen de la reflexión sobre la crisis ambiental - Se considera que el punto de inflexión histórico en relación con el cambio global arranca conceptualmente con la obra *Silent Spring* (1999) de Rachel Carson escrita en 1960, pues representa la primera llamada de atención que cuestiona el modelo de desarrollo del capitalismo norteamericano, que de manera vertiginosa crea nuevas situaciones, impulsado por una sociedad cada día más demandante, ambiciosa y numerosa, atropella el deliberado ritmo de la naturaleza, con los consecuentes efectos en la salud y el ambiente.

Cuadro 2. Momentos relevantes para el desarrollo de indicadores ambientales.

1987	Inicia el desarrollo de conceptos y métodos sobre indicadores ambientales en Canadá y Holanda.
1989	Cumbre Económica del Grupo de los 7 donde, por sugerencia de Canadá, se solicitó a la OCDE el desarrollo de indicadores ambientales.
1991	La OCDE publica su conjunto preliminar de indicadores ambientales. Conjunto de indicadores realizada por el gobierno holandés.
1992	Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo, en cuya declaración se promueve el desarrollo de indicadores.
1993	La División de Estadística de las Naciones Unidas y el PNUMA convocaron a una Reunión Consultiva de Expertos en Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad, para discutir los avances en la materia logrados por diferentes organismos. Publicación en Canadá de un conjunto completo de indicadores, primero de una serie periódica.
1994	La OCDE presenta su conjunto central (<i>core set</i>) de indicadores. Conferencia sobre Ciudades Sustentables Europeas, que marcó un paso importante para el desarrollo de conceptos y tareas relativo a indicadores de sustentabilidad.

Informe sobre los límites de crecimiento - Derivado del impacto de la obra de Carson (1999), El Club de Roma compuesto por un grupo de científicos e industriales, encargó el informe sobre los límites del crecimiento (Meadows *et al.*, 1972); en él se expone que el modelo de crecimiento de la sociedad implica una esperanza de vida de alrededor de 100 años. Dicho pronunciamiento favoreció la ampliación del Manifiesto para la Supervivencia (Goldsmith, 1972), que anuncia el origen de un movimiento social que ha de conducir a una convivencia armónica entre la especie humana y el resto de la naturaleza

Educación para comprender el mundo - La preocupación surgida de estos resultados hizo que la ONU convocara a la primera Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente - Estocolmo, 1972. Allí se asumió la responsabilidad de los riesgos ambientales globales por parte de los gobiernos y la sociedad proponiendo su solución a partir de una estrategia de educación para comprender el mundo, cuya base es que la educación capacitará al individuo para comprenderse a sí mismo,

a los demás y a su entorno, con la perspectiva de conducirlo hacia la realización de sus potencialidades. Ello supone, por una parte, un proceso de adaptación al ambiente natural y social; además de, un aprendizaje para superar las deficiencias de ambos.

Primera propuesta para un desarrollo sostenible.- Como respuesta a una resolución del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en conjunto con la World Wildlife Fund (WWF), en 1980, solicitaron a la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN) la Estrategia Mundial para la Conservación que proporcionara tanto un marco intelectual, como una guía práctica para las tareas que fuese necesario emprender para la preservación del ambiente. Se postula que ésta y el desarrollo son equivalentes en importancia para la supervivencia y para el cumplimiento de la responsabilidad de ser depositarios de los recursos naturales. La Estrategia considera que ante la expansión económica, la sociedad deberá enfrentar la limitación de los recursos y de la capacidad de los ecosistemas; así como, las necesidades de mantener la capacidad de la Tierra para sostener la vida.

Nuestro futuro común. El Informe Brundtland.- La Asamblea General de las Naciones Unidas fundó en 1983 la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo, que en 1987 presentó su informe final; se trata de un documento básico que refleja la opinión de 21 políticos, científicos y ecologistas prominentes respecto a los peligros a los cuales se enfrenta el planeta y propone los pasos que se deben dar para asegurar la continuidad del progreso humano. Fundamenta el escenario conceptual de la expresión de "desarrollo sostenible". Para sus autores, se trata de un instrumento potencialmente poderoso en las manos de todos los grupos de ciudadanos, instituciones y naciones, que exhorta a la sociedad a comunicar y educar, para dar paso a un debate constructivo que incluya la opinión pública, los gobiernos y a todos los sectores que determinan la política y les haga entender que el desarrollo sostenible es el objetivo primordial.

Los contenidos más notables que plantea son:

- La destrucción de la biósfera, la degradación ambiental, las presiones demográficas, el agotamiento de los recursos y su consecuente desaparición de especies amenazan la salud humana y la de los ecosistemas. Los modelos insostenibles de producción y consumo, sobre todo en los países industrializados, son el principio de muchos problemas y limitan de manera considerable las opciones de las generaciones futuras a consecuencia de la reducción de la base de recursos.
- El reto del desarrollo sustentable depende de la garantía de la sustentabilidad de la biosfera y de sus ecosistemas, a lo que debe agregarse la participación

directa de los gobiernos en cooperación con las organizaciones no gubernamentales. Dado que la sustentabilidad en el contexto nacional no se puede alcanzar solo por la acción de los sectores económicos, en el ámbito regional, es necesaria la coordinación y cooperación internacional. Se deben definir objetivos comunes y medidas concretas. Las políticas tienen que basarse en el principio de precaución. Las medidas deben anticipar, prevenir y atacar las causas de la degradación ambiental.

- Los problemas ambientales requieren una aplicación amplia y sistemática de los conocimientos científicos; sobre todo, hacen falta análisis que ayuden a identificar opciones de políticas a más largo plazo. Por lo tanto, dichas actividades han de reforzarse en el nivel nacional e internacional.
- La consecución del desarrollo sustentable en todas las esferas, requiere cambios importantes en los valores humanos hacia el medio ambiente y en las pautas de comportamiento y consumo; así como, del establecimiento de las instituciones y los procesos democráticos necesarios (Bruntland, 1987).

Cuidemos la Tierra. Segunda Estrategia Mundial para la Conservación, 1990.- Incorpora el llamado Informe Brundtland. Propuso mejorar las condiciones de vida de los seres humanos y para ello define dos requisitos: 1) Conseguir un compromiso que se extienda y asuma una nueva ética, la de vivir en forma sostenible. 2) Integrar la conservación en el desarrollo a fin de mantener las prácticas productivas dentro de la capacidad de la Tierra y, el hacer que toda persona en cualquier lugar disfrute de una vida larga, saludable y satisfactoria.

La Cumbre de Río. El gran concilio ambiental - Todos los procesos, acuerdos y encuentros desembocan en la aceptación de que las desigualdades crecientes, el hambre, la pobreza, las enfermedades y la falta de equidad, además de, las consecuencias ecológicas de la destrucción de la capa de ozono, el cambio climático, la degradación, la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la contaminación del aire, el agua y los suelos amenazan el futuro común y sostenible de la humanidad. La urgencia que supone la atención de estos asuntos motivó a la celebración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro en 1992; acontecimiento que constituyó un hito en la toma de conciencia pública ambiental y significó una apuesta por una nueva forma de contemplar el futuro, inseparablemente ligado a la suerte de los ecosistemas de la Tierra.

El evento permitió destacar la magnitud de los problemas, el resultado es distinto en cuanto a los contenidos y los acuerdos, mismos que fueron muy notables. En el preámbulo de la declaración de Río se reafirma la anterior manifestación de la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Humano (Estocolmo, 1972) y de manera particular se presentó la Agenda 21, un plan de acción que

abarca temas económicos, sociales y culturales; de protección al ambiente, mediante estrategias y medidas integradas para frenar y revertir los efectos de la degradación ambiental y promover un desarrollo esencialmente sano y sostenible en todos los países, incorporando a las administraciones y a otros agentes sociales de carácter local.

La sustentabilidad, una cuestión de definiciones.- El concepto "sustentabilidad" ha conquistado un espacio sin precedentes, pues pocas expresiones en un periodo tan corto, han tenido tanto éxito. La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (World Commission on Environment and Development, WCED) define el "desarrollo sostenible" como el que "satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las próximas generaciones para satisfacer las suyas propias". En la Declaración del Milenio de la ONU, entre sus ocho objetivos resalta el de Garantizar la Sostenibilidad del Medio Ambiente, en el sentido de "revertir la pérdida de recursos del medio ambiente".

El término ha sido criticado por su ambigüedad y porque se abre a una amplia gama de interpretaciones, muchas de las cuales son contradictorias entre sí. La confusión proviene del hecho de que en Iberoamérica es más común la expresión "desarrollo sustentable", que las de "desarrollo sostenible", "crecimiento sostenible" y "uso sostenible", lo que incluso ha generado nuevas acepciones, de manera intercambiable, como si sus significados fueran equivalentes y no lo son. "Crecimiento sostenible" es una contradicción: nada físico puede crecer indefinidamente, "uso sostenible" es aplicable solamente a los recursos naturales ya que significa que se usan en proporciones que mantengan su capacidad de renovación. "Desarrollo sostenible" es utilizado en el sentido de mejorar la calidad de vida de los humanos dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas. El desarrollo, de suyo, es sostenible y conlleva a una "economía sostenible" que se caracteriza por mantener la base de recursos naturales y continuar adaptándose y mejorando la organización, la eficiencia técnica y el buen juicio.

El camino hacia la sostenibilidad parte de un desarrollo que cumpla con las siguientes condicionantes, desde el punto de vista económico debe ser; materialmente suficiente; en la perspectiva ambiental, ecológicamente perdurable y en el aspecto social, equitativo (Onaindia, 2004).

Estado del arte de los indicadores ambientales

El concepto de indicador proviene del verbo latino *indicare*, que significa revelar, señalar, término que en el contexto sustentable, se concreta en un conjunto de parámetros especialmente diseñados para obtener información específica, según objetivos predeterminados en algún sentido prioritarios para la relación sociedad-entorno. Tres son las propiedades que determinan las características de los indicadores en conjunto: son una creación intelectual cuya precisión depende del

contexto en el cual es formulada; su complejidad, derivada de los grandes horizontes de incertidumbre implícitos en cada uno de ellos y en su relación con otros; y finalmente es la creciente sensibilización por parte de las fuentes que los formulan por cambiar el enfoque tradicional, dominante, sectorial, por una visión más holística, integral; totalizadora al vincular diferentes especialidades, para así tener una aproximación más certera de la realidad actual (Mallén, 2005).

Se reconocen varios modelos de razonamiento para abordar el tema de la formulación de indicadores. La línea de pensamiento predominante es la sectorial con una lógica vectorial (origen, dirección, destino), que limita el resultado a un diagnóstico puntual, sin establecer relaciones intersectoriales y obstaculiza su aplicación en políticas preventivas. Corresponde al modelo PER (Presión-Estado-Respuesta), elaborado por la Organización para el Comercio y Desarrollo Económico (OECD, 1994), extendido al sector ambiental con mayor o menor detalle y con alguna dimensión adicional debido a la creciente demanda de indicadores sintéticos, funcionales y que colaboren con las propuestas ambientalistas de ejecutar políticas y programas preventivos. Sin embargo, dicha línea es incipiente y aún exploratoria.

En las instituciones los indicadores son una alternativa; aunque no todos los programas de un mismo estilo cuentan con una batería de ellos, pues un tema puede o no abordarse mediante un conjunto de indicadores. No obstante, en la actualidad coexisten numerosos grupos que los usan, de especial diseño e incluso se traslapan entre sí.

Los indicadores ambientales se consideran una contribución de la época actual a la demanda creciente por disponer de información confiable, continua y comparable para conocer el estado de la relación entre la sociedad y su entorno natural. Han aportado datos de algunas variables que integran las tres dimensiones que constituyen el desarrollo sostenible, pero todavía están alejados de lograr el objetivo original, que es contribuir a evaluar y efectuar un seguimiento de la sostenibilidad. Es preciso buscar nuevas formas de manejar la información, reconocer las relaciones funcionales significativas y estructurales que permitan obtener un acercamiento verdadero a la realidad, por definición, compleja, multidimensional y a diferentes escalas.

Sólo mediante un diálogo multidisciplinario se reconocerán aspectos significativos que favorezcan el diseño de indicadores integrales, con aproximaciones sistémicas y una perspectiva holística para evaluar, efectivamente, los esfuerzos desplegados en el camino hacia la sostenibilidad, darles seguimiento, establecer líneas de acción prioritarias y postular los ajustes permanentes que se necesita un proceso con los grandes niveles de incertidumbre como los que registra este comienzo de un nuevo milenio

El Esquema Presión-Estado-Respuesta (PER).

El esquema conceptual Presión-Estado-Respuesta (PER), diseñado originalmente por Statistics Canada en 1979, fue retomado y adaptado por la organización de las Naciones Unidas para elaborar algunos manuales sobre estadísticas ambientales, concebidos para su incorporación a los sistemas de contabilidad física y económica. De forma paralela en 1991 la OCDE lo adoptó y modificó y en 1993 definió un grupo modular de indicadores en varios temas, seleccionados para ponderar el desempeño ambiental. Este constituyó una herramienta analítica para categorizar o clasificar datos sobre los recursos naturales y el ambiente a la luz de sus interrelaciones con las actividades sociodemográficas y económicas. Se basa en el conjunto de las siguientes relaciones: las actividades humanas ejercen presión (P) sobre el ambiente, modificando con ello el estado (E) de los recursos naturales; la sociedad responde (R) a tales transformaciones con políticas generales y sectoriales, las cuales afectan y se retroalimentan de las primeras (Figura 1).

De acuerdo con la OCDE, un indicador se define como un valor, derivado de otros más generales, que señala o provee información o describe el estado de un fenómeno dado -del ambiente o de un área específica- con un significado que trasciende el valor específico del parámetro (OECD, 1991). Conlleva dos funciones básicas: reducir el número de mediciones y parámetros que se requieren para reflejar una situación dada y, simplificar la comunicación con el usuario (INEGI/INE, 2000) (Figura 1).

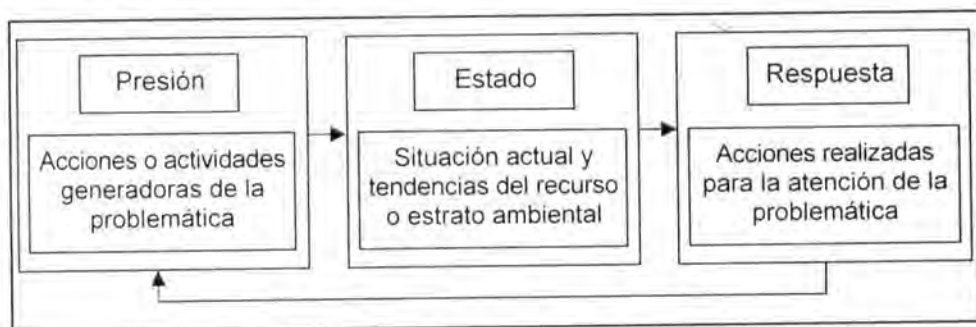


Figura 1. Esquema Presión – Estado – Respuesta (FAO, 2001).

Cada vez más naciones determinan indicadores, desde el enfoque del desarrollo sostenible (IDS), los cuales incorporan, aunque no necesariamente vinculan, las dimensiones económica, social, ambiental e institucional. Quiroga (2001) señala que se constata una profusión en la definición de indicadores con cobertura nacional, en general, a cargo de los gobiernos centrales (agencias de medio ambiente o de desarrollo sostenible); mientras que, organizaciones civiles y

gubernamentales seleccionan indicadores de fenómenos locales (ciudades), territoriales (cuenca, bahías), temáticos (biodiversidad, aguas, entre otros) o bien sectoriales (energético, transporte, agrícola).

Un sistema de IDS nacional tiene un costo superior de inversión y de operación al que organizaciones independientes de la sociedad civil pueden absorber. Es deber de los Estados generar esta información de forma oportuna y transparente, igual como ocurre con los indicadores económicos y sociales. Mucho camino se ha recorrido desde mediados de la década de los ochentas, cuando se inició el trabajo en torno a los indicadores de sostenibilidad ambiental. En los noventas, se articuló con mayor fuerza el trabajo dirigido a su elaboración en los países más poderosos y también en algunos latinoamericanos. La Cumbre de la Tierra, el Programa de IDS de la CDS, y otros impulsos en la agenda ambiental de los gobiernos han propiciado cambios vigorosos en los últimos años. Hay coincidencia en que los desafíos más frecuentes se presentan tras una intensa década de desarrollo de indicadores:

- El precio de construir un sistema de calidad y operarlo a lo largo plazo.
- La insuficiente valoración del potencial que tienen los IDS como herramientas en la toma de decisiones por parte de la mayoría de los gobiernos de la región, en relación a otras prioridades en la agenda pública.
- Los problemas del diseño y aplicación de indicadores, en particular su insuficiente carácter integrador que tienen los IDS hasta ahora propuestos, en el sentido de indicar las cuatro dimensiones del Desarrollo Sostenible pero con menor efectividad, bien al generar mayor significado mediante un número inferior de indicadores vinculantes o de tercera generación.

Pino (2001) aseveró que entre los desafíos de los países de América Latina sobresalen el enfrentamiento a múltiples necesidades y restricciones presupuestarias, lo que obliga a resolverlas con imaginación y en forma cooperativa. Confluyen los deseos de la ciudadanía y de los gobiernos, por contar con señales claras, objetivas y oportunas del nivel de avance respecto del desarrollo sostenible, de forma que se pueda enmendar el rumbo. Pero medir esta necesidad se enfrenta con el esfuerzo económico que demanda constituir un mínimo equipo humano, técnicamente competente, a cargo de dichos indicadores con garantía de calidad.

Además, en el área se tiene el desafío científico de avanzar en la medición de un proceso en definición, y que por lo tanto, supone dificultades fuertes para que se concrete hasta un nivel de cuantificación de fenómenos complejos y dinámicos. El uso de los indicadores en Latinoamérica exige la combinación creativa de estas fuerzas motrices en el plazo más breve. No existe todavía consenso sobre la teoría y método para construir indicadores ambientales, pues se

tiene el concepto de que es específico de las políticas vigentes en cada país o región. Sin embargo, hay coincidencia sobre la necesidad de otros más generales para medir las consecuencias ambientales de acciones y proyectos y para cuantificar el capital natural. Así, para el Banco Mundial los indicadores son medidas de desempeño que agregan información de modo que sea aplicable, destacando los aspectos no resueltos de fluctuaciones, variaciones interpolares e incertidumbre.

El éxito de un curso de acción es medible y hasta crear estímulos para reaccionar ante ciertos problemas, pero se carece de medidas de política a seguir. Son los tomadores de decisiones en quienes recae la responsabilidad de escoger la alternativa que permita lograr las metas propuestas con la mayor eficiencia. Se distinguen tres grandes categorías de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental (OCDE, 1996):

- Indicadores de desempeño ligados a objetivos cuantitativos explícitos (metas, objetivos, compromisos).
- Indicadores de desempeño unidos a grandes objetivos cualitativos, dirigidos al concepto por dos vías: i) respecto a la eficiencia de las actividades humanas; y ii) a la sustentabilidad del uso de los recursos naturales.
- Indicadores descriptivos, que no están ligados a los objetivos nacionales.

La experiencia internacional en el desarrollo de indicadores resalta que:

- Los gobiernos han tomado como un asunto prioritario la formulación de indicadores, a tal punto que la planeación, ejecución y evaluación de la política ambiental los demanda para su correcta aplicación.
- Es fundamental coordinar las acciones de sistematización y difusión de la información entre las agencias de estadística y las autoridades.

En la medida en que los indicadores ambientales evolucionan, aumenta la necesidad de su uso; así como, el interés y la participación de distintas instancias. Dicho proceso demanda cada vez mayor precisión, pero es también un ejercicio que ofrece múltiples ventajas para la planeación y toma de decisiones del gobierno y un más amplio canal de información confiable.

Índices e Indicadores. - Es importante aclarar que un índice ambiental se distingue de los indicadores en que éstos se refieren a medidas simples de factores o especies bajo la hipótesis de que son indicativos del sistema biofísico o socioeconómico. Se han empleado los indicadores ecológicos; así durante muchas décadas en Estados Unidos las plantas se han usado como indicadores de las condiciones del agua y suelo, que afectan al potencial agropecuario. También se ha recurrido al uso de vertebrados en las zonas cálidas (Odum, 1959; Hunsaker

y Carpenter, 1990). Un "organismo indicador" es un taxón seleccionado por su sensibilidad o tolerancia a los diversos tipos de contaminación y sus efectos, como es el caso de las provocadas por metales o la desaparición de oxígeno (Chapman, 1992). En lo que se refiere a calidad del agua, los grupos elegidos comprenden bacterias, protozoarios, algas, macro-invertebrados, macrófitos y peces.

Para efectos de ordenamiento territorial existe una cantidad considerable de indicadores que eventualmente son aplicados a escalas urbana, microrregional, estatal, mesorregional y nacional. Los conjuntos elegidos deben cumplir con las siguientes características: a) poder ser representados cartográficamente; b) estar basados en métodos sencillos; c) proceder de fuentes de datos accesibles y confiables; d) susceptibles de actualización periódica con fines de monitoreo; e) establecer tendencias y f) posibilitar su agregación con fines de caracterización mesorregional (Palacio *et al.*, 2004).

A partir de las primeras pruebas efectuadas por Prabhu *et al.* (1998) se percibieron gradualmente los atributos de los indicadores que resultarían útiles. Los que se retuvieron por, considerarse los más valiosos, se calificaron con base en que eran pertinentes, estaban relacionados con la meta de evaluación sin ambigüedad, su definición era precisa; su diagnóstico específico; eran fáciles de detectar, registrar e interpretar; fiables, como lo indicaba la reproducción de los resultados y; sensibles a las tensiones de los sistemas de manejo forestal, ecológico o social; además de, ofrecer una medida espacio/temporal y ser atractivos para los usuarios.

El Programa de Evaluación y Cartografía Ecológica de la EPA (EMAP) utiliza indicadores para una gran cantidad de funciones (Hunsaker y Carpenter, 1990). De hecho fungen como herramientas para el seguimiento del estado del medio en relación al desarrollo sostenible o a las amenazas ambientales (OCDE, 1991). Son usados para medir el funcionamiento del medio respecto a grados de calidad y sus cambios; así mismo se integran en las políticas sectoriales y económicas. El Cuadro 3 contiene un listado de 25 indicadores, de los cuales 18 son ambientales y siete socioeconómicos todos ellos significativos para el medio.

Evaluaciones basadas en indicadores.- Posibilitan la incorporación de textos, mapas, gráficas y datos tabulares. En general, incluyen un sistema más amplio de indicadores, se eligen con cuidado, pues permiten realizar evaluaciones claras, aun siendo selectivos. Por ello cubren todos los temas que representan adecuadamente las condiciones humanas y ecológicas. Los procedimientos sistemáticos para la elección de los indicadores exponen la selección y el arreglo de los tópicos cubiertos y los valores involucrados, hacen más transparentes a los estudios basados en indicadores, que los de tipo narrativo, y por lo tanto, son más solicitados en la toma de decisiones.

Cuadro 3. Conjunto preliminar de indicadores ambientales nacionales.

Indicadores ambientales biofísicos
1.- Emisiones de CO ₂
2.- Emisiones de gases invernadero
3.- Emisiones de SO _x
4.- Emisiones de NO _x
5.- Uso de recursos hídricos
6.- Calidad del río
7.- Tratamiento de aguas residuales
8.- Cambio en los usos del suelo
9.- Áreas protegidas
10.- Uso de fertilizantes nitrogenados
11.- Uso de recursos forestales
12.- Comercio de madera tropical
13.- Especies amenazadas
14.- Volúmenes de pesca
15.- Producción de residuos
16.- Residuos municipales
17.- Accidentes industriales
18.- Opinión pública
Indicadores del ambiente social y económico
19.- Crecimiento de la actividad económica
20.- Intensidad de energía
21.- Energía disponible
22.- Producción industrial
23.- Tendencias del transporte
24.- Consumo privado de combustible
25.- Población

Fuente: (OECD, 1991).

La intervención de los tomadores de decisiones es indispensable para asegurar que la evaluación incorpore sus valores y trate sus preocupaciones. Deben tener una clara noción de qué se va a medir y las cuestiones que definen el valor. El equipo de trabajo tiene la responsabilidad de asegurarse que el proceso soporte el escrutinio científico. Sin embargo, las demandas técnicas de la selección de indicadores impone apremios en la participación.

Al aplicar el mismo conjunto de indicadores a través del tiempo, se pueden comparar trabajos posteriores con los anteriores, lo cual provee una cobertura más consistente de una valoración a otra, y ésta aunada a una organización sistemática de los temas y sus indicadores, facilitan la clara identificación de los aspectos prioritarios.

La evaluación puede ser designada en común por participantes y técnicos, pero difiere una de otra, principalmente en el número de subsistemas, la cantidad de niveles entre ellos y los indicadores y si generan los Índices (indicadores compuestos) del estado del sistema (el área por evaluar) y sus componentes.

La división en dos subsistemas asegura que las poblaciones y el ambiente sean tratados por igual y que la cuestión principal se centre en el desarrollo sustentable: ¿Cómo alcanzar el bienestar humano y el de los ecosistemas juntos?. Incrementar el número de ecosistemas a partir de la fragmentación del universo integrado por el hombre y sus acciones reduce el peso dado al ambiente, de la mitad a un tercio (tres subsistemas), a un cuarto (cuatro subsistemas). La ventaja de tener tres subsistemas es la prominencia dada a la economía. Sin embargo, los aspectos del confort de la humanidad son difíciles de tratar y dependen de las perspectivas culturales. La separación de economía, sociedad e institucionalidad es más arbitraria, aunque ha sido aceptada por la Comisión de las Naciones Unidas en Desarrollo Sustentable (CSD).

Un subsistema "integrado" es superfluo debido a que la unificación de los indicadores, sugerida por la Iniciativa del Reporte Global, podría asignar un subsistema u otro, o permitiría generar más información como índices de estado parciales o totales. Pocos niveles dificultan retomar la lógica detrás de la elección de un indicador, es decir, qué aspecto del subsistema representa y cómo lo hace; pero Muchos propician que el usuario se pierda entre tantas ligas. Dado el amplio alcance del desarrollo sustentable es inevitable contar con un gran número de indicadores, que se traducen en un enorme problema de comunicación.

La creciente cantidad de proyectos de indicadores y los desafíos mundiales tienen dos caras aparentemente contradictorias: la complejidad de manejar el cúmulo de datos requeridos para monitoreo y la demanda de simplicidad, cuando las políticas de acción se consideran cada vez más urgentes; así como, el propósito para crear indicadores. La disyuntiva es presentar de manera simple, elegante y eficaz un sistema, sin comprometer su complejidad.

El mejor camino para superar este problema es combinar los indicadores en índices, pues así proveerán un claro retrato del sistema completo, revelando las relaciones clave entre los subsistemas y los componentes mayores; además facilita el análisis de las fortalezas y debilidades críticas. No se pierde información, debido a que los indicadores constitutivos y los datos subyacentes son siempre cuestionados.

Los indicadores del desempeño ambiental en México.- Al adherirse a la Agenda 21, México se comprometió a adoptar medidas nacionales y globales en materia de sustentabilidad, y acciones orientadas a la generación de indicadores mediante los cuales se midan y evalúen las políticas y estrategias correspondientes. De acuerdo con el párrafo 40.4 de tal declaración, los indicadores de desarrollo sustentable proporcionan bases sólidas para la toma de decisiones en todos los ámbitos y aportan elementos para autorregular la sustentabilidad de los sistemas integrados del ambiente y el desarrollo, constituyendo un punto de referencia para la evaluación del bienestar y de la sustentabilidad de un país. En abril de 1995, la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) de las Naciones Unidas aprobó el Programa de Trabajo sobre Indicadores de Desarrollo Sustentable 1995-2000. A partir de 1997, México se sumó formalmente a otros 21 países que, de manera voluntaria, habían decidido participar en la prueba piloto mundial para desarrollar dichos indicadores.

Para definir y conjuntar las series de indicadores sugeridos en la Agenda 21, la CDS, participó en las actividades de diseño y elaboración de las respectivas metodologías para que con ellas los países tuviesen un marco de referencia en la preparación de los indicadores. Los organismos involucrados incluyen: el Banco Mundial, la Oficina de Estadística de la Comunidad Europea (Eurostat), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), Organización Internacional del Trabajo (OIT), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), Worldwatch Resources Institute, WRI (Instituto de Recursos Mundiales). Los indicadores propuestos por la CDS con criterios temáticos cubren lo expuesto en cada uno de los 40 capítulos de la Agenda 21, y están clasificados en cuatro categorías –social, económica, ambiental e institucional–, y por su naturaleza dentro del esquema presión-estado-respuesta, distribuidos así: presión 43, estado 54 y respuesta 37, que totalizan 134 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Agenda 21: Listado de capítulos del desarrollo sustentable según categoría temática.

Categoría y capítulo	Número de indicadores
Aspectos Sociales	
3 Combate a la pobreza	6
5 Dinámica demográfica y sustentabilidad	4
36 Promoción de la educación, la concientización pública y la capacitación	11
6 Protección y promoción de la salud humana	12
7 Promoción del desarrollo de asentamientos humanos sustentables	8
Subtotal	41
Aspectos Económicos	
2 Cooperación internacional para acelerar el desarrollo sustentable en los países y en sus políticas internas	5
4 Cambio de patrones de consumo	8
33 Mecanismos y recursos financieros	6
34 Transferencia de tecnología	4
Subtotal	23
Aspectos Ambientales	
18 Recursos de agua dulce	7
17 Protección de océanos, todo tipo de mares y áreas costeras	5

continúa...

continuación Cuadro 4...

Categoría y capítulo	Número de indicadores
Aspectos Ambientales	
10 Enfoque integrado para la planificación y administración de recursos del suelo	3
12 Manejo de ecosistemas frágiles: combate a la desertificación y la sequía	4
13 Manejo de ecosistemas frágiles: desarrollo sustentable en áreas montañosas	3
14 Promoción de la agricultura sustentable y el desarrollo rural	7
11 Combate a la deforestación	4
15 Conservación de la diversidad biológica	2
16 Manejo ambientalmente limpio de la biotecnología	2
9 Protección de la atmósfera	6
21 Manejo ambientalmente limpio de desechos sólidos y aspectos relacionados con aguas servidas	5
19 Manejo ambientalmente limpio de sustancias químicas tóxicas	2
20 Manejo ambientalmente limpio de desechos peligrosos	4
22 Manejo seguro y ambientalmente limpio de desechos radioactivos	1
Subtotal	55
Aspectos Institucionales	
8 Integración del ambiente y el desarrollo en la toma de decisiones	4

continúa...

continuación Cuadro 4...

Categoría y capítulo	Número de indicadores
Aspectos Institucionales	
35 Ciencia para el desarrollo sustentable	3
39 Instrumentos y mecanismos legales internacionales	2
40 Información para la adopción de decisiones	3
23-32 Fortalecimiento del papel de los principales grupos	3
Subtotal	15
Total	134

Fuente: Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies, United Nations Organization, 1996.

Al estructurar el análisis de la sustentabilidad en tales categorías o subsistemas se busca identificar los posibles ámbitos de causa-efecto para un fenómeno dado, además de los factores esenciales para orientar las líneas de acción a ese respecto. Estos indicadores intentan reflejar y medir las interrelaciones entre el desarrollo socioeconómico y las cuestiones ecológicas y constituir un punto de referencia para la evaluación del bienestar y de la sustentabilidad.

El punto crucial del desarrollo sustentable es cómo armonizar la expansión productiva con la base de recursos que la hace posible, es decir, integrar estrategias del desarrollo económico, el bienestar de la población y las prioridades de conservación de los recursos naturales y ambientales. Conscientes de tal desafío, se han adoptado los instrumentos institucionales y legales para orientar las estrategias hacia la modalidad sustentable.

Desde 1988 México cuenta con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), en la que el desarrollo sustentable se concibe como "el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras" (SEMARNAT, 2003).

Los primeros pasos hacia la formulación de indicadores en el país se dieron a partir del Taller Norteamericano de Información Ambiental (Ezcurra, 1993) cuyo objetivo fue generar una base de datos para el informe del estado del ambiente de América del Norte. Aún cuando el establecimiento de indicadores fue de inicio motivado por la obligatoriedad de atender compromisos internacionales y de generar indicadores comparables a dicho nivel, con la creación de la SEMARNAP se tomó conciencia de la importancia de dichos instrumentos en la planeación y la gestión de las políticas ambientales, se hizo énfasis en la necesidad de contar con un conjunto de indicadores enfocados a la toma de decisiones dentro del territorio nacional y, en la medida de lo posible, incluir otros de índole mundial.

En una primera etapa se decidió avanzar en los temas del Instituto Nacional de Ecología, a fin de crear una base sólida que permitiera el desarrollo futuro de los indicadores seleccionados. La estrategia consistió en establecer un conjunto de indicadores "Ideales" a escala general, para realizar un modelo de la dinámica de cada problema, con base en propuestas internacionales como las de la OCDE y el PNUMA; posteriormente se revisaron antecedentes de cada tema. Concluidas estas dos tareas, se valoró la viabilidad de los indicadores para darlas a conocer, de acuerdo con la disponibilidad de la abundante y muy diversa información, lo que hizo necesario tener un marco conceptual para estructurarla y hacerla más accesible e inteligible.

Se adoptó, entonces, el esquema Presión-Estado-Respuesta (PER), que se basa en una lógica de casualidad, presupone relaciones de acción y respuesta entre la economía y el medio ambiente, y parte de interrogantes simples (INEGI e INE, 2000). Desde mediados de la década de los 90s, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) amplió su competencia hacia el campo de los recursos naturales. La Ley Federal de Procedimiento Administrativo, así como las modificaciones a la LGEEPA en 1996, dieron fundamentos más claros a las acciones de aplicación de la ley y, al mismo tiempo, otorgaron mayor seguridad jurídica a los inspeccionados.

Posteriormente, la Ley General de Vida Silvestre y las reformas del año 2001 a la LGEEPA crearon figuras novedosas como la flagrancia administrativa y la posibilidad de condonar las multas por aportaciones a programas de restauración. Un indicador indirecto del éxito de esos cambios normativos está en el hecho de que los amparos y otros recursos jurídicos no han representado un obstáculo para el ejercicio de las atribuciones de la PROFEPA.

Es notoria la falta de indicadores que permitan conocer el modo en que se conforma y se transforma el universo de los ilícitos que afectan la biodiversidad, y menos aún del impacto que las acciones de esta instancia federal pueden haber tenido en las diferentes regiones y contextos sociales; por ello, el desarrollo de tales indicadores es indispensable para definir una política racional

de aplicación de la ley. No obstante, existe una percepción, enteramente justificada, de que su actuación resulta casi insignificante frente a las dimensiones de los procesos de deterioro que afectan a la flora y fauna. Además de un aumento en el financiamiento para enfrentar el problema, se requieren mecanismos de articulación de la PROFEPA con las demás autoridades ambientales y, con las comunidades locales en particular, para lograr nuevas formas de consenso social en torno a la aplicación de la normatividad vigente.

En la actualidad, los tratados ambientales internacionales buscan no sólo normar la conducta de los países entre sí, sino también las actividades internas, tanto para asegurar la observancia del principio 21, de Estocolmo como para proteger el medio ambiente y sus recursos naturales. Por ello, el orden jurídico ambiental mexicano se ha enriquecido por la vía de dichos convenios, muchos de los cuales obligan al Congreso de la Unión y al Poder Ejecutivo a emitir leyes y decretos que tienen y cumplan con las disposiciones internacionales asumidas. Los tratados ambientales internacionales tienen aplicación a nivel mundial, regional, subregional y, en muchísimos casos bilateral, versan en materias muy variadas que incluyen desde la protección de la naturaleza, la diversidad biológica, los recursos acuíferos superficiales y subterráneos; hasta la capa de ozono, la atmósfera y el cambio de clima (Székely, 2008).

México es parte de foros y acuerdos, los cuales comprenden tópicos referentes a la preservación de la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos, por vertimiento de desechos y otras materias y por buques (entre 1954 y 1990). Para la protección de los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (1971); el patrimonio mundial cultural y natural (1972); el comercio internacional de especies amenazadas de flora y fauna silvestres (1973); el derecho del mar (1982); la protección de la capa de ozono (1985, 1987, 1990 y 1992); el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos (1989); el cambio climático (1992) y la diversidad biológica (1992) (Cuadro 5).

Parámetros clave de la sostenibilidad

La crisis del desarrollo y el ambiente.- Para finales de la década de 1970, la comunidad internacional reconoció que la crisis ambiental global continuaba; así como, la pobreza y el subdesarrollo de los países del Hemisferio Sur, a pesar de los programas de conservación. En consecuencia, se crearon varias comisiones cuyos resultados empezaron a publicarse desde 1980; ese fue el caso del Informe Brandt (ICNSDI, 1980) sobre la crisis del subdesarrollo del Sur, y de la Estrategia Mundial de Conservación (WCS) (IUCN-UNEP-WWF, 1980). Ambos documentos trataron sus respectivos problemas de forma más o menos aislada, aunque la WCS reconoció el nexo entre el subdesarrollo y el deterioro ambiental en los países estudiados, concluyendo que sólo el "desarrollo sustentable" podría enfrentarlos.

Cuadro 5. Acuerdos y foros Internacionales en materia ambiental en los que participa México.

Multilaterales

1. Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD).
 2. Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, del CDB.
 3. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).
 4. Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT).
 5. Comisión Ballenera Internacional (CBI).
 6. Convenio sobre Humedales de Importancia Internacional Especialmente Hábitat de Aves Acuáticas (Ramsar).
 7. Organización Internacional de las Maderas Tropicales (ITTO).
 8. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).
 9. Protocolo de Kyoto, de la CMNUCC.
 10. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave, en particular en África (CNULD).
 11. Convenio de Viena, para la protección de la capa de ozono.
 12. Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.
 13. Convenio de Basilea, sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.
 14. Convenio de Rotterdam, sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional.
-

continúa...

Multilaterales

15. Convenio de Estocolmo, sobre contaminantes orgánicos persistentes.
-

Declaraciones y planes de acción multilaterales

1. Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, Estocolmo.
 2. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
 3. Declaración de Johannesburgo sobre Desarrollo Sustentable.
 4. Plan de Implementación de Johannesburgo.
 5. Declaración del Milenio (objetivos de desarrollo del milenio).
 6. Declaración de Cancún (Grupo de Países Megadiversos Afines).
-

Vínculos con organismos

1. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
 2. Oficina Regional para América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
 3. Comisión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (CDS).
 4. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
 5. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD).
 6. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
 7. Comité de Pesca de la FAO (COFI).
 8. Foro de las Naciones Unidas sobre Bosques (FNUB).
-

continúa...

continuación Cuadro 5...

Vínculos con organismos

9. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).
10. Organismo de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC).
11. Organización Mundial de Comercio (OMC).
12. Acuerdo de Asociación Económica y Concertación Política y Cooperación entre México y la Comunidad Europea.
13. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático.
14. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC).

Subregionales

1. Comisión para la Cooperación Ambiental de Norteamérica (CCA).
2. Comité trilateral Canadá-México-Estados Unidos para la Conservación y Manejo de la Vida Silvestre y Ecosistemas.
3. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD).
4. Corredor Biológico Mesoamericano
5. Arrecife Mesoamericano

Con el informe Brundtland (WCED, 1987), este tema alcanzó la madurez como concepto unificador para enfrentar la doble crisis del subdesarrollo y la degradación ambiental.

El Informe Brundtland puso de manifiesto que ambas derivan del proceso industrial tradicional, cuyo concepto del ambiente como fuente inagotable de materias primas por un lado, y espacio ilimitado para los desechos por el otro, redundan precisamente en el deterioro ambiental y en la emergencia de muchos pobres y pocos ricos (WCED, 1987; Challenger, 1998).

Tales facetas se consideran temas centrales del desarrollo sustentable, mismo que se define como "aquel que puede satisfacer las necesidades de la

generación actual, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades» (WCED, 1987)". Concepto que ha sido adoptado ya por la mayoría de los países del mundo como el principal objetivo de las políticas nacionales y de la cooperación internacional. Derivado de ello se celebró la Cumbre de Río de Janeiro, en 1992, en la cual se sentaron las bases legales para la acción internacional en pro de la erradicación de la pobreza y de la conservación ambiental.

El surgimiento de dichos acuerdos; además de, la incorporación de sus compromisos en las políticas de todas las naciones, son cruciales para alcanzar niveles aceptables de progreso. En el mejor de los casos, al "sanar" los impactos negativos sobre el medio, la sociedad, y la economía del desarrollo industrial y la pobreza, éstos dejarían de tener secuelas automáticas, y debería ser factible lograr un entorno en el que la producción y la conservación van de la mano, en beneficio del bienestar de todos (INE, 2003).

La sociedad actual que multiplica las dimensiones del tiempo y espacio plantea enfoques sin precedentes, que a su vez propician la aparición de nuevos problemas ambientales, el incremento de los existentes y de las externalidades generadas por el modelo económico. La selección de datos relevantes para efectos de sostenibilidad, la formulación de relaciones funcionales significativas y estructurales de las variables que dan cuenta del sistema geográfico en su conjunto, se transforman en un observatorio de la sociedad local y global y, en una fuente de información coyuntural, desde muchos puntos de vista; con fuertes connotaciones de estrategia política, de manera que, a la luz de lo que percibe el común de la gente respecto al medio ambiente y lo que se recibe de manera oficial sobre el tema, cabe preguntarse ¿hasta qué punto los datos obtenidos mediante la aplicación de indicadores es comunicada a la opinión pública?

Los tres ámbitos fundamentales involucrados en el concepto Brutland fueron plasmados en un esquema sinóptico: el bienestar humano, el ecológico y sus interacciones. Se trata de un enfoque integrado del desempeño económico y ambiental, que conforma un área de factibilidad, en el cual el crecimiento económico debería ser suficiente para resolver la pobreza y paralelamente sustentable para evitar una crisis ambiental, considera también la equidad entre las generaciones presentes y la intergeneracional que involucra los derechos de las futuras (INEGI e INE, 2000), (Figura 2).

Existe un consenso en que el concepto de desarrollo sustentable debería tender hacia un esquema que considere al ser humano como centro de toda estrategia, en la cual el mejoramiento de la calidad de vida se dé con eficiencia productiva y de manera armónica con la preservación de los recursos naturales.



Fuente: World Commission on Environment and Development (WCED), 1987.

Figura 2. Áreas principales de sustentabilidad.

Información para el desarrollo de la política ambiental

La integración del ambiente en la política es la asignatura pendiente del siglo XX, lo que conlleva a incorporar las metas ambientales en las de tipo sectorial. Para Manteiga (2000) implica la obtención de datos útiles, pues el desarrollo de la política ambiental depende de un largo proceso de toma de decisiones. Parte de una preocupación y acaba en la adopción de medidas encaminadas a paliar propensiones desfavorables.

Resulta necesario traducir las observaciones científicas y la abundancia de registros en un número reducido de parámetros capaces de ofrecer información útil, a escala política, sobre el problema en cuanto a sus causas, su situación y sus tendencias. Así, cuando el deterioro se transforma en una alarma reconocida, por lo general existen evidencias que la avalan. Por ejemplo, para el fenómeno del cambio climático, se dispone de una ingente cantidad de referencias actuales y de un largo período histórico de documentación.

El uso de indicadores como instrumento del proceso político es una práctica habitual en muchos sectores. El diseño de planes nacionales ambientales comienza a darse a mediados de los ochentas en Europa y es entonces cuando surge la necesidad de poner en práctica mecanismos que evalúen la situación del medio y las consecuencias de las medidas aplicadas. De tal manera que la

creciente demanda de información útil, en espacio y tiempo; para servir a un procedimiento político preventivo, justifica que sea preciso avanzar con carácter prioritario en un sistema de indicadores, cuyos componentes respondan a un esquema común y comparable en los ámbitos regional, nacional e internacional.

Para la OCDE (OECD, 1993) un indicador es un parámetro o el valor que resulta de un conjunto de ellos, y que ofrece información sobre un fenómeno, con un significado más amplio que el directamente asociado a su configuración, y que conlleva a una función muy precisa. De ahí que exista diversidad de tipos de indicadores para el desarrollo de la política ambiental, los cuales pueden agruparse en:

- Indicadores de evaluación ambiental. Reflejan el estado del medio con respecto a una preocupación ecológica, la presión que éste soporta y la respuesta social; suelen organizarse en un marco temático, entendido como preocupación ambiental (cambio climático, eutrofización, pérdida de biodiversidad, etc.), o por grandes sistemas ecológicos (agua, atmósfera, suelo, etc.). Ejemplos: variación de la temperatura media global, concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O.
- Indicadores de integración sectorial. Informan sobre la relación entre los efectos sectoriales (agricultura, turismo, transporte, etc.) y las condiciones ambientales. Ejemplos: precio del transporte, emisiones de CO₂ y CO, consumo final de energía, longitud de la red de carreteras, valor bruto añadido del sector.
- Indicadores de integración económica. Relativos al costo ambiental asociado a la economía, como pueden ser: PIB verde, gasto total consolidado en actividades características ambientales (OECD, 1993; AEMA, 1999; EUROSTAT, 1996 y MIMAM, 1996).

Los indicadores están avalados por los requisitos de validez científica, a saber: representatividad en el marco ambiental, fácil interpretación, respuesta a cambios y comparables a diferentes niveles (OECD, 1993). Éstos condicionan las limitaciones a las que se enfrentan los indicadores, como sucede con la calidad de las estadísticas. Su uso en el contexto del desarrollo de la política ambiental precisa de una permanente revisión, en la que se integren los cambios en las metas políticas, los avances en el conocimiento de los problemas ambientales y los resultados de los debates técnico- científicos sobre la estructura misma de los indicadores.

En el aspecto político, el déficit se interpreta como la distancia presente desde la situación de una región determinada y los objetivos propuestos por la política y la legislación ambiental. Entendido así, conocerlo para un determinado ámbito geográfico permite determinar una meta, destacar prioridades de acciones en

función de los calendarios establecidos y seleccionar los parámetros necesarios para tomar medidas. De tal manera que, el campo de aplicación de un sistema de indicadores puede comenzar por ordenar los temas políticos y legislativos que correspondan a los apartados de la política y la legislación ambiental; se procede, entonces, a definir los alcances en cada uno; fase que demanda una lectura cuidadosa de los documentos que dan cuerpo a la política y a la normatividad de cobertura local, regional, nacional e incluso internacional. Una vez identificados los propósitos, el sistema de indicadores dispone de un horizonte claro sobre qué informar.

Una política ambiental efectiva debe poder integrarse a las sectoriales. Para ello, es imprescindible conocer la relación entre el estado del medio y la presión que ejercen los diversos factores, por el uso de los recursos naturales o por las emisiones contaminantes. Las limitaciones ambientales para el desarrollo sectorial dependen de la capacidad de carga del medio. Por ejemplo, el establecimiento de regadíos debería estar en función de la disponibilidad de agua, la erodabilidad del suelo y la existencia de zonas de elevado valor natural. Las potencialidades ambientales para el desarrollo sectorial indicarán las áreas para las que el medio ambiente ofrece oportunidades. Tal es el caso de los espacios para el turismo rural o zonas para la producción de energías renovables.

El primer paso para construir un sistema de indicadores es la elaboración de un perfil sectorial; el cual se prepara con base en indicadores económicos relacionados con el uso de los recursos; además de otros relativos a la incidencia ambiental directa de cada sector identificado. Los componentes y las tendencias identificadas se asocian con indicadores sobre el estado ecológico de la región, mismos que se usan para conocer el déficit ambiental. Con esta información se pueden plantear y justificar el potencial y las limitaciones ambientales para el desarrollo sectorial del ámbito geográfico. Por ejemplo: el perfil sectorial de una región indica la existencia de una densa red de transporte por carretera. Dicha característica se relaciona con la fragmentación del hábitat, lo que repercute sobre la pérdida de biodiversidad, de la cual uno de los principales sectores responsables es el transporte.

El resultado de esta aplicación lleva a un conocimiento sistemático de las posibilidades ambientales de desarrollo sectorial de la región por tema o preocupación.

El conocimiento sistemático de las posibilidades ambientales favorece un diálogo fluido y eficaz entre los responsables de las políticas sectoriales, y en consecuencia una mayor y mejor integración ambiental. Cabe destacar la necesidad de llevar los problemas ambientales a términos bien delimitados, con características cuantificables que hagan posible y comprensible su integración con las de otros sectores. El uso de sistemas de indicadores como herramienta contribuye con esa importante tarea.

CONCLUSIONES

Los indicadores ambientales y su organización en sistemas constituyen un instrumento versátil, capaz de optimizar el uso de la información ambiental, dar curso a un proceso sistemático de toma de decisiones y avanzar en una sólida integración de la política correspondiente. Son métodos de alerta que permiten evaluar el progreso hacia la sostenibilidad y un medio de calidad.

Se analizaron experiencias relevantes por su cobertura, porque sus marcos ordenadores constituyen herramientas óptimas para los usuarios o su calidad técnica y de validación potencian su propuesta notablemente. Se privilegió el ordenamiento de experiencias de escala nacional. La extensa gama de propuestas que se incrementan cada vez con más fuerza, disponibles en múltiples referencias dificulta su aplicación, al tiempo que surgen iniciativas en disímiles espacios ciudadanos, en centros de estudio y de gobierno; por ello, se identificaron las principales experiencias, se abordó una discusión teórica sobre lo que se entiende por un indicador, sus características y requisitos.

Se consideró importante concentrar las iniciativas de ámbito nacional, que por lo general compromete esfuerzos gubernamentales. Se analizaron iniciativas enmarcadas en mecanismos de cooperación, comisiones multilaterales y agencias internacionales, dado que su acceso a recursos técnicos y financieros posibilita un aseguramiento básico del nivel técnico y científico.

AGRADECIMIENTOS

El presente ensayo se elaboró en el marco del proyecto "Criterios e indicadores para la evaluación de la sustentabilidad del manejo forestal en la región centro de México" financiado por el Fondo Sectorial CONACYT – CONAFOR (2003 – C03 – 10735) al cual reconocemos su importante labor en la promoción del desarrollo forestal sustentable. Así mismo, estoy en deuda con la Dra. Cecilia Nieto de Pascual Pola, por su profesional trabajo en la revisión y edición de la versión original.

REFERENCIAS

- Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA). 1999. List of contents of the 1999 EEA indicators report. Documento de trabajo. Copenhagen. Dinamark. 48 p.
- Boada, M. 2003. Medio Ambiente. In: Boada, M. y V. M. Toledo. 2003. El planeta, nuestro cuerpo. La ecología, el ambientalismo y la crisis de la modernidad. FCE, SEP, CONACYT. México, D. F., México. 237 p.
- Bruntland, G. (Ed.). 1987. Our common future: The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press. Oxford, UK. 386 p.

- Canadian Council of Forest Ministers (CCFM). 1997. Criteria and indicators of sustainable forest management of Canada. Technical Report 1997. Ottawa, Canada. 137 p.
- Capra, F. 1998. La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos. Editorial Anagrama, Col. 204. Madrid, España. 368 p.
- Carson, R. 1999. Silent Spring. Penguin Books, Ltd. Col. Penguin Modern Classics. London, UK. 325 p.
- Carrizo, L., M. Espina P. y J. T. Klein. 2004. Transdisciplinariedad y Complejidad en el Análisis Social. Gestión de las Transformaciones Sociales MOST. Documento de debate No. 70. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). París, Francia. 68 p.
- Chapman, D. 1992. Water quality assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Published on behalf of UNESCO, WHO and UNEP. Chapman and Hall. London, UK. 585 p.
- Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES). 2001. Índice de sustentabilidad ambiental; sustentabilidad ambiental comparada en las entidades federativas de México. México, D. F. México. 220 p.
- Center for International Forestry Research (CIFOR). 1999. Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable management. Jakarta, Indonesia. 186 p.
- Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). 1997. Regiones ecológicas de América del Norte. Hacia una perspectiva común. Montreal, Canadá. 71 p.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2000. Sistema de indicadores para el seguimiento de la situación ambiental de México. CONAPO. México, D. F. México. 283 p.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2001. Sistema de indicadores para el seguimiento de la situación ambiental de México. CONAPO. México, D. F. México. 245 p.
- Estocolmo, 1972. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. www.cinu.org.mx/temas/des_sost.htm. (Fecha de consulta: 26 de junio 2007).
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2001. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural Boletines FAO: Tierras y Aguas No. 5. Roma Italia. 345 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1996. Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and change processes. FAO forestry paper 130. Food and Agriculture Organization of the UN. Rome, Italy. 152 p.
- Gobierno del Estado de Jalisco. 2001. Índices municipales de sustentabilidad. CD Rom.
- Gobierno del Estado de Querétaro. 2002. Sistema de indicadores ambientales y de sustentabilidad. CD Rom.

- Goldsmith, E. 1972. Manifiesto para la supervivencia. Alianza Editorial. Madrid, España. 402 p.
- Hunsaker, C. T. and D. E. Carpenter (Eds). 1990. Environmental Monitoring and Assessment Program. Ecological Indicators. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, EPA 600/3-90/060. Research Triangle Park, NC. USA. 340 p.
- Independent Commission on North – South Development Issues (ICNSDI). 1980. North-South: A Program for Survival. Massachusetts Institute of Technology Press, MA. USA. 149 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2000. Sistema de Indicadores Ambientales y Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. SEMARNAT-INE. México, D. F. México. 425 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2003. Conservación de ecosistemas de montaña en México. INEGI 2000. Anuario de estadísticas por entidad federativa. Temporalidad 1990-1999. SEMARAT, México, D. F. México. 348 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) / Instituto Nacional de Ecología (INE). 2000. Indicadores de desarrollo sustentable en México. INEGI/INE. México, D. F. México. 204 p.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN), United Nations Environmental Program (UNEP) and World Wildlife Fund (WWF). 1980. World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales. Gland, Suiza. 322 p.
- Independent Commission on North – South Development Issues. MIT Press (ICNSDI). 1980. North-South: A Program for Survival, MA. USA. 435 p.
- Izazola, H. 1999. Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. El Colegio de México. Estudios Demográficos y Urbanos 16 (2): 285-320.
- Manteiga, L. 2000. Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. *In*: Estadística y Medio Ambiente. Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla, España. pp. 75-87.
- Mallén R., C. 2005. Indicadores para la evaluación del ambiente: Los recursos naturales y la sustentabilidad. *In*: Benavides S., J. D., T. Hernández T. y F. Becerra L. (Coord.). Contribución al estudio de los servicios ambientales. Libro Técnico 1. CIRPAC, INIFAP. Guadalajara, Jal. México. pp. 171-218.
- Massera, O., M. Astier y S. López-Ridaura. 1996. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación mesmis. Mundi-Prensa México S. A. de C. V., GIRA e Instituto de Ecología. UNAM. México, D. F. México. 109 p.
- Meadows D., H., J. Randers y D. Meadows. 1972. Los límites del crecimiento. Editorial Aguilar. Madrid, España. 205 p.

- Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). 1996. Indicadores ambientales. Una propuesta para España. Secretaría General de Medio Ambiente. Madrid, España. 217 p.
- Odum E., P. 1959. Fundamentals of Ecology. W. B. Saunders, Philadelphia, PA. USA. 546 p.
- Onaindia, M. 2004. El desarrollo sostenible y la educación ambiental desde la cátedra UNESCO de la UPV/ EHU. 1er seminario Interdisciplinario sobre Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental. Universidad del País Vasco. Bilbao. España. pp. 6 - 12.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1991. Core Set of Environmental Indicators. Paris, France. 215 p.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1993. Core set of indicators for environmental performance reviews. A synthesis report by the Group on the State of Environment. Environment Monographs No. 83. OECD: Paris, France. 83 p.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1994. Environmental Indicators and the environmental performance review of The Netherlands. Paris, France. 223 p.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1996. Environmental Indicators and the environmental performance review. OECD. Paris, France. 176 p.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 2001. Key of environmental indicators. Environment Monographs. No. 109. OECD: Paris, France. 36 p.
- Palacio-Prieto, J. L., M. T. Sánchez S., J. M. Casado I., J. Sancho C., C. Valdez M. y R. Cacho G. (Coordinadores). 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Instituto Nacional de Ecología / Instituto de Geografía, UNAM. Secretaría de Desarrollo Social. México, D. F. México. 161 p.
- Pino N., M. E. 2001. Los indicadores ambientales como parámetros clave de la sostenibilidad <http://www.ub.es/cres/indica.htm> (Fecha de consulta: 26 de junio 2007).
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2002. Recursos Mundiales, 2002 La guía global del planeta. Ecoespaña Editorial. Madrid, España. 345 p.
- Prabhu, R., C. Colfer y G. Shepherd. 1998. Criterios e indicadores para la ordenación forestal sostenible: nuevos hallazgos de la investigación realizada por CIFOR al nivel de la Unidad de Manejo Forestal. Red Forestal para el Desarrollo Rural, documento de la red 23ª verano. Rural Development Forestry Network, Comisión Europea. UK. 24 p.
- Proceso de Montreal. 1995. Criterios e indicadores para la conservación y el manejo sustentable de los bosques templados y boreales. Reuniones e Informes. Santiago, Chile. 86 p.

- Quiroga M., R. 2001. Indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible: Estado del arte y perspectivas. Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Organización de las Naciones Unidas, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Serie Manuales N° 16. Santiago, Chile 451 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. México, D. F., México. 95 p.
- Székely, A. 2008. Derecho Ambiental Internacional http://www.union.org.mx/guia/derechosyobligaciones/derecho_internacional.htm. Unión de Grupos Ambientalistas, I. A. P. (Fecha de consulta: 19 de agosto 2008).
- Statistical Office of the European Comisión (EUROSTAT). 1996. Estadísticas del Medio Ambiente. Ed. Comunidades Europeas. Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla, España. s/p.
- United Nations Organization (ONU). 2000. Indicators for sustainable development. Guidelines and methodologies. Reporte del programa de trabajo de CSD. Commission on Sustainable Development. 303 p.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2002. Monitoring for forest management: unit scale indicators: The Local Unit Criteria and Indicators Development (LUCID) Test. Inventory and Monitoring Institute Report No. 5. Washington, DC. USA. 42 p.
- World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. Our Common Future. Oxford University Press. Oxford. UK. 400 p.

SEMBLANZA DEL DR. FERNANDO ZAVALA CHÁVEZ: HOMENAJE PÓSTUMO

Emma Estrada Martínez¹

Este texto pretende ser un homenaje al profesor investigador que fue Fernando Zavala Chávez, a través de la presentación de un conjunto de datos sobre su trayectoria académica e investigaciones realizadas, homenaje que esperamos sirva de referencia a los investigadores y estudiantes interesados; pero también, un tributo al ser humano que su familia, amigos y compañeros conocimos.

¿Qué hace que una persona se decida por ser un investigador de las ciencias biológicas? ¿Un buscador incansable y entusiasta de la expresión y funcionamiento de la naturaleza? Muy probablemente la curiosidad innata que nos lleva a deslumbrarnos desde que somos niños ante el comportamiento de “animales pequeños como aves, lagartijas y renacuajos” (de acuerdo con lo que refiere Leticia Zavala García, acerca de lo que platicaba sobre su niñez el Dr. Zavala), o el florecer de una planta que forma parte del ornamento de la casa familiar; o la apremiante e insaciable necesidad de ir más allá de la mera fascinación estética, hacia la profundidad de los misterios vegetales, animales o fúngicos.

Aspectos de su vida personal

Para quienes conocimos a Fernando, al Dr. Fernando Zavala Chávez, nos era evidente su pasión científica. Sí, su pasión, porque en los aciertos y desaciertos, en la búsqueda de las similitudes y diferencias morfológicas de los encinos mexicanos para establecer su identidad específica, en la interrogante sobre la posible reproducción vegetativa *ex situ* de *Taxus globosa* Schltdl., la mezcla de alegría y padecimiento que él llegó a experimentar fue indudable. Pero también sabíamos que con él no existían los términos medios en materia de ética y moral, tanto en lo relacionado con sus sentimientos de amor y de amistad, como con respecto a sus opiniones académicas una vez establecidas, siempre fundamentadas en investigaciones o reflexiones profundas.

Fernando nació en Morelia, Mich., el 21 de febrero de 1953 y en 1980 se casó con Leticia García García con quien vivió una sólida y amorosa relación hasta el día en el que falleció, el 17 de febrero del año que transcurre. Tuvieron cuatro hijos, Fernando, Leticia, Isaías y Orquídea, todos ellos imitadores de sus padres en la fidelidad a su familia y en la responsabilidad, sin duda, una de las mejores herencias de Fernando.

¹ Profesora Investigadora de la División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Correo-e: eestradam@yahoo.com



Trayectoria académica

El Dr. Zavala realizó sus estudios profesionales en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en Morelia, Michoacán y se graduó en 1984 con una investigación sobre la sinecología de la vegetación de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, adscrita a la Universidad Autónoma Chapingo (Zavala, 1984), porque ya para ese año, Fernando había desarrollado, a través de su trabajo académico en la UACH, un fuerte interés por los aspectos relacionados con la ecología forestal.



Su ingreso a la Universidad Autónoma Chapingo fue el 1 de septiembre de 1978, es decir, que en el año que transcurre, al igual que yo, nuestro querido amigo, cumpliría 30 años de labor docente en esta tan entrañable y cambiante Universidad.

Yo conocí a Fernando en ese tiempo y simpatizamos a un ritmo vertiginoso, ya que con los cursos en desarrollo, mismos que debían atenderse en su parte práctica, tuvimos que familiarizarnos en unos cuantos días con toda la diversidad de especies, subespecies y variedades de los pinos mexicanos, entre otros *taxa* de gimnospermas. Experimentamos la angustia que ha tenido todo maestro que se inicia en un ámbito académico que no nos era familiar, a sabiendas de que nuestro buen desempeño implicaba en ese momento nuestra permanencia en la UACH, pero también el compromiso que siempre se mantuvo de brindar a los estudiantes conocimientos actualizados de alta calidad.



Ya como profesor investigador de la UACH, Fernando realizó sus estudios de postgrado en el Colegio de Postgraduados. Cursó los estudios de Maestría de 1984 a 1987, y su tesis versó sobre el desarrollo de conos femeninos de *Pinus cembroides* Zucc. (Zavala, 1987). Posteriormente durante el doctorado, de 1992 a 1996, enfocó su interés a los encinos mexicanos, inquietud que ya tenía desde hacía varios años y que se convirtió en una de sus más importantes pasiones académicas por el resto de su vida. Por lo tanto, su tesis doctoral consistió en un

estudio sobre la repoblación natural de encinos en la Sierra de Pachuca, Hidalgo (Zavala, 1996).

En la División de Ciencias Forestales de la UACH, durante sus casi 30 años de trabajo, Fernando impartió los cursos de Botánica Forestal, Fitogeografía, Ecología, Ecología Forestal, Seminario de Titulación y Biología y Diversidad Vegetal II a estudiantes de licenciatura; Morfología General y Variabilidad de Encinos e Introducción a la Biología de Encinos en el Postgrado. También impartió cursos de Ecología Forestal y Seminario II, como profesor invitado en la Universidad Veracruzana.

Desde el año 1990, Fernando inició una larga serie de publicaciones (más de 40) sobre distintos tópicos relacionados con pinos, en particular pinos piñoneros, encinos mexicanos, *Pseudotsuga macrolepis*, romerillo (*Taxus globosa*), genética molecular forestal y el patol (*Calia secundiflora*). Asimismo, fue editor y compilador de diferentes obras y formó parte del Consejo Arbitral de la revista Ciencia Forestal en México desde 2006 hasta su fallecimiento.

Logró un sitio reconocido internacionalmente como investigador de los encinos, como lo demuestra su colaboración en la publicación estadounidense *Field Guide to Native oak species of Eastern North America* (Stein et al., 2003) y en la publicación alemana *Langeneicker Eichen Register / The world register of oaks* (Lübbert, 2006), en donde él participó con el capítulo correspondiente a *Die Eichen Mexikos / Los encinos de México*. En nuestro país, consignaron su autoridad en este campo Valencia y Flores-Franco (2006). La fuerte especialización que desarrolló en esta área del conocimiento le permitió describir una nueva especie en los alrededores de la Presa Jaramillo, al sur del Parque Nacional El Chico, Hgo. a la que llamó *Quercus pachucana* Zav.-Cháv. (Zavala, 2000a).

Durante todo su ejercicio académico fue conferencista constante en diversos foros académicos organizados por la UACH, el Colegio de Postgraduados y otros lugares del país y del extranjero. Fue miembro de distintos Comités Científicos de Congresos y Reuniones Internacionales, así como de Comités Organizadores de Foros y Seminarios de Investigación en la UACH. Además fungió como director y asesor de numerosas tesis de licenciatura y maestría de diferentes instituciones, así como Subdirector de Investigación de la División de Ciencias Forestales (2000-2001) y Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Dasonomía de la Dirección General de Investigación y Postgrado en la Universidad Autónoma Chapingo (2000-hasta su fallecimiento). Formó parte del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) como Investigador Nacional Nivel I (2000-2003).

Al final de este homenaje se presenta una relación de las publicaciones en las que participa el Dr. Fernando Zavala Chávez, ya fuera como único autor o en colaboración con otros colegas que tuvieron el gusto de trabajar con él.

Este extenso *curriculum* sería suficiente para guardar un gran respeto y admiración por el Dr. Zavala, sin embargo, Fernando no sólo fue un investigador y maestro excelente, sino también, alguien a quien se podía llegar a querer mucho, pues cuando se lograba trascender el gesto severo que en ocasiones tenía, para encontrarse con el amigo leal, oyente excelente y discreto, bromista, científico entusiasmado con una investigación o durante una recolecta en campo, entonces Fernando brillaba con esa luminosidad que era expresión de la unión de su nobleza, inteligencia y fortaleza de carácter.

Por ello, esta semblanza estaría incompleta si no contáramos con el testimonio de tres personas que fueron sus amigos (entre muchos otros), la Dra. Aurora Montufar López, investigadora del Instituto Nacional de Antropología e Historia, el Dr. Edmundo García Moya, Profesor Investigador Emérito del Postgrado en Botánica del Colegio de Postgraduados y el Biól. Jesús Dorantes López, Gerente de la Región X, Golfo Centro de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

La Dra. Montufar comentó que era un joven biólogo entusiasta y emprendedor que tuvo la oportunidad de conocer en el entonces Departamento de Bosques de la recién creada Universidad Autónoma Chapingo, a la cual acababa de ingresar como profesor investigador de tiempo completo. Realizaron juntos algunas salidas de campo para recolectar muestras florísticas en sitios comunes y comenta que Fernando tenía bien clara la idea de conocer y estudiar los encinos pues le significaba un gran reto definir su taxonomía.

El Dr. García Moya refiere que su acercamiento profesional con el Dr. Zavala se inició en julio de 1984, al tiempo de su ingreso como estudiante de Maestría en el entonces Centro de Botánica del Colegio de Postgraduados; permaneció con ese carácter hasta la terminación de su Programa en diciembre de 1987. El Dr. García Moya trabajó con el Dr. Zavala Chávez cuando realizó sus proyectos de maestría y postgrado en el estudio de la plasticidad de las hojas, fenología y crecimiento del brote anual e iniciación de conos femeninos de *Pinus cembroides* Zucc. y cuando investigó sobre frutos, semillas, plántulas y rebrotes de encinos y años después sobre *Calia secundiflora* (Ort.), (García *et al.*, 2007; Zavala *et al.*, 2006).

El Biól. Dorantes comentó que le fue presentado el Biólogo Zavala por el Dr. Teobaldo Eguluz Piedra, en la División de Ciencias Forestales de la UACh y le pareció una persona seria y de pocas palabras, pero afable y sencilla, al inicio de los años 90s. En esa ocasión hablaron del Centro de Genética Forestal, A. C. y del convenio entre la Universidad Veracruzana y la Universidad Autónoma Chapingo como responsables de la creación del Centro y recuerda que de inmediato sugirió al Biólogo Zavala que visitara Veracruz y que elaboraran un proyecto para estudiar el potencial de los encinos del estado.

Últimos comentarios

Al preguntar a la esposa de Fernando, qué fue lo que ella llegó a apreciar más de él a lo largo de sus años de convivencia, ella me respondió sin dudar, que su honestidad, cualidad que lo diferenció desde el principio de su relación con él, de otras personas que ella conocía. Indudablemente una cualidad ya no tan fácil de encontrar en nuestros tiempos, porque Fernando siempre expresó lo que pensaba sin simulaciones, aunque ello le provocara en más de una ocasión, alguna enemistad.

En el mundo del consumismo actual, con frecuencia se dice que "nadie es imprescindible", cuando se desea minimizar la importancia que alguien puede tener, al equiparlo con una mercancía desechable. Al enfrentarme a la pérdida irremediable que ha significado la muerte de diferentes personas que he querido profundamente, como Fernando, cada vez con mayor convicción, pienso que todos aquellos que luchan con denuedo y entrega por algo que creen, o por otras personas, se vuelven imprescindibles, porque nadie puede reemplazar el espacio que deja un ser integral, con sus pensamientos, creatividad, forma de ver y vivir la vida, y lo que ello puede representar para cada uno de los que lo conocen.

La mayoría de las veces no nos percatamos de las grandes cualidades de alguien hasta que ya no está. En el caso de Fernando, el maestro, el investigador, el padre de familia, mi amigo, mi compañero de trabajo, su recuerdo es algo que lastima mi alma profundamente, pero este sentimiento se entremezcla con el orgullo de haber conocido a un hombre que prevalecerá de muchas formas: en el amor y cuidados que brindó a su esposa, hijos y amigos; en los cuantiosos y diversos textos que él escribió y las ideas que en ellos plasmó; en los árboles que plantó o donó, como el encino que crece en los jardines de la División de Ciencias Forestales de la UACH y que conmemora la realización del Congreso Estudiantil Forestal Nacional en 2006, el que regaló a la Dra. Montúfar, o los que plantó en Santa María Tecuanulco, Texcoco, para ayudar a un campesino en la conservación de su predio; en el apoyo que brindó a incontables investigadores al hacer identificaciones precisas de los encinos que le llevaban y a los estudiantes que formó a través de sus enseñanzas académicas y éticas.

Fernando Zavala Chávez, un hombre discreto, amante de la pintura, la fotografía y la práctica del fútbol, nada más y nada menos que un investigador que en tres décadas logró ubicarse entre los mejores y más prolíficos investigadores botánicos de nuestro país.



AGRADECIMIENTOS

Deseo manifestar mi agradecimiento a Leticia García García, esposa de Fernando Zavala Chávez, por su gran amabilidad y paciencia al responder a mis preguntas y proporcionarme documentos, textos y las fotografías para la realización de esta semblanza. A la Dra. Aurora Montúfar López, al Dr. Edmundo García Moya y al Biól. Jesús Dorantes López, por su colaboración en las entrevistas. A todos los compañeros maestros de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo que con gran disposición me proporcionaron información.

REFERENCIAS

- García M., R., M. Soto H., F. Zavala Ch. and G. Kite. 2007. Quinolizidine alkaloids in *Calia secundiflora* (Fabaceae). *Agrociencia* 41 (2): 161-167.
- Lübbert, R. (Ed.) 2006. *Langeneicker Eichen Register / The world register of oaks*. Gantner Verlag. Düsseldorf, Germany. 398 p.
- Stein, J. D., D. Binion y R. E. Accivatti. 2003. *Field guide to native oak species of Eastern North America*. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team. Morgantown, WV. USA. 164 p.
- Valencia, A. S. y G. Flores-Franco. 2006. Catálogo de Autoridad Taxonómica del género *Quercus*, Fagaceae en México. Herbario FCME, Facultad de Ciencias, UNAM. Base de Datos SNIB-CONABIO proyecto CS008. In: Catálogo de Autoridades Taxonómicas del Género *Quercus*, Fagaceae en México. México, D. F. http://www.conabio.gob.mx/informacion/catalogo_autoridades/plantas/Quercus/Quercus.pdf. 17 p.

- Zavala Ch., F. 1984. Sinecología de la vegetación de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, estados de México y Puebla. Tesis Profesional. Escuela de Biología, Unidad de Ciencias y Humanidades, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 164 p.
- Zavala Ch., F. 1987. Estudio de la primera etapa del desarrollo de conos femeninos de *Pinus cembroides* Zucc. Tesis de Maestría. Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de Méx., México. 113 p.
- Zavala Ch., F. 2000a. A new species of red oak (*Quercus* sect. *Lobatae*) from Central Mexico. *International Oaks* 10: 30-35.
- Zavala Ch., F., R. García M., M. Soto H. and G. Kite. 2006. Phytochemical differences between *Calia secundiflora* (Leguminosae) growing at two sites in Mexico. *Zeitschrift für Naturforschung. C. A Journal of Biosciences* 61 (3/4): 155-159.

Algunos trabajos de tesis en los que participó el Dr. Fernando Zavala Chávez como Director o Miembro del Jurado

- Acosta P., J. 2006. Factores de mortalidad en bellotas de *Quercus mexicana* Humb. & Bonpl. en el parque estatal Sierra de Tepetzotlán, Estado de México. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 75 p.
- Ángel A., L. 2004. Estructura de la vegetación del Parque Estatal Sierra de Tepetzotlán, Estado de México. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 63 p.
- Arreola G., S. M. 2001. Pruebas preliminares de germinación de semillas de *Taxus globosa* Schlecht. del Parque Nacional El Chico, Hidalgo. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 49 p.
- Camacho R., M. J. 1993. Comportamiento del brote anual de *Pinus gregii* Engelm. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 99 p.
- Madrigal H., L. 1990 Contribución del conocimiento de *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. con énfasis en el estado de Veracruz. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 84 p.
- Martínez C., D. 2002. Variación morfométrica de dos especies de encinos rojos: *Quercus sartorii* Liebman y *Q. xalapensis* Humboldt & Bonpland (Fagaceae). Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Recursos Naturales, Especialidad de Botánica, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 107 p.

- Mendoza D., M. M. 2004. Determinación de los hongos asociados con encinos y su importancia ecológica en la porción noroeste de la sierra de Pachuca, Hgo. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 73 p.
- Palomino S., S. 2005. Diseño, establecimiento, manejo y evaluación de un sendero interpretativo en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México. (Modalidad de titulación mediante el desarrollo de un Proyecto de Servicio Universitario). División de Ciencias Forestal, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. 100 p.
- Ramos L., N. A. 2001. Análisis de taxoides en el follaje de *Taxus globosa* por cromatografía de líquidos (HPLC). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 66 p.
- Ramos M., A. 2006. Estudio cariológico de *Quercus tomentella*. Obtención de título de Técnico Superior Universitario en Biotecnología. Universidad Tecnológica de Tecámac – División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 44 p.
- Zárate B., E. 2001. Ordenamiento ecológico forestal de la cuenca del río La Antigua, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo del Recurso Forestal. Facultad de Agronomía, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 90 p.

Trabajos publicados por el Dr. Fernando Zavala Chávez

- Álvarez M., J. G. y F. Zavala Ch. 2006. Manual de prácticas de laboratorio de genética molecular forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 118 p.
- Corlay-Chee, L., F. Zavala Ch., J. A. Cuevas S., E. Guízar N., J. Pineda P., E. Robledo S., M. E. Rivas G. y R. Maldonado T. (Eds.). 2002. Recursos Naturales: conservación y aprovechamiento. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 276 p.
- Corlay-Chee, L., F. Zavala Ch., J. Pineda P., E. Robledo S. y R. Maldonado T. (Eds.). 2003. Suelo y bosque: conservación y aprovechamiento. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 178 p.
- Huescas E., M. I., J. G. Álvarez M., R. Campos B., F. Zavala Ch., S. E. García D. y J. T. Méndez M. 2004. Síntomas de la población de *Quercus eduardii* Trel. en el predio "Laguna Cercada", municipio de San Felipe, Guanajuato. In: Zavala Ch., F., A. Borja de la R., J. G. Álvarez M. y R. Campos B. (Eds.). Recursos Forestales: Aprovechamiento, Manejo y Conservación. CD-ROM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 9 p.
- Martínez C., D., T. Terrazas y F. Zavala Ch. 2003. Arquitectura foliar y anatomía de la corteza y la madera de *Quercus sartorii* y *Q. xalapensis* (Fagaceae). Bol. Soc. Bot. Méx. 73: 63-72.

- Mendoza D., M. M., F. Zavala Ch. y E. Estrada M. 2006. Hongos asociados con encinos en la porción noroeste de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12 (1): 13-18.
- Ramos L., N., M. Soto H., F. Zavala Ch. y M. T. Rodríguez G. 2003. Taxoides en el follaje del tejo mexicano (*Taxus globosa* Schlecht.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 9 (1): 29-38.
- Zárate H., J. R. García M., F. Zavala Ch., R. Pérez L. 2004. Potencial alelopático de patol (*Calia secundiflora* (Ort.) Yakovlev). In: Zavala Ch., F., A. Borja de la R., J. G. Álvarez M. y R. Campos B. (Eds.). Recursos Forestales: Aprovechamiento, Manejo y Conservación. CD-ROM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 10 p.
- Zárate H., J., R. García M., F. Zavala Ch., R. Pérez L. y M. Soto H. 2006. Fitotoxicidad de los extractos de *Calia secundiflora* (Ort.) Yakovlev. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 12 (2): 197-202.
- Zavala Ch., F. 1990a. Clave para la identificación de especies de *Pinus* de México. Un enfoque sistemático. Serie de Apoyo Académico 41. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Edo. de Méx., México. 42 p.
- Zavala Ch., F. 1990b. Los encinos de México: un recurso desaprovechado. *Ciencia y Desarrollo* 16 (95): 43-51.
- Zavala Ch., F. 1992a. Algunos efectos de los aprovechamientos forestales sobre la vegetación en el sureste de Durango con énfasis en encinos. In: Marroquín, J. S. (Ed.). III Seminario Nacional sobre Utilización de Encinos. Memorias Tomo I. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 220-233.
- Zavala Ch., F. 1992b. Consideraciones ecológicas de los encinos en la vegetación del Parque Nacional El Chico, Hidalgo. In: Marroquín, J. S. (Ed.). III Seminario Nacional sobre Utilización de Encinos. Memorias Tomo I, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. México. pp. 98-111.
- Zavala Ch., F. 1995. Encinos hidalguenses. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. 133 p.
- Zavala Ch., F. 1996. Repoblación natural de encinos en la Sierra de Pachuca, Hidalgo. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx., México. 148 p.
- Zavala Ch., F. 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica* 8: 47-64.
- Zavala Ch., F. 1999. Variabilidad y riqueza de encinos mexicanos. Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 5 (2): 113-121.
- Zavala Ch., F. 2000b. El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo Sum* 7 (3): 269-276.
- Zavala Ch., F. 2000c. Nuestros peculiares encinos mexicanos. Especies. *Revista sobre Conservación y Biodiversidad* 9 (1): 19-24.

- Zavala Ch., F. 2001a. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schlecht. en el Parque Nacional el Chico, Hidalgo, México. I: población de adultos y algunas características del hábitat. *Ciencia Ergo Sum* 8 (2): 169-174.
- Zavala Ch., F. 2001b. Efecto de la pérdida de humedad en la germinación de semillas en tres especies de encinos (*Quercus* spp.) de Hidalgo. *Memorias del IV Congreso Nacional Agronómico*. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, 24-25 de abril de 2001. Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 121-132.
- Zavala Ch., F. 2001c. Introducción a la ecología de la regeneración natural de encinos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx. México. 94 p.
- Zavala Ch., F. 2001d. Líneas de investigación de encinos y romerillos (*Taxus*) de México. In: Zavala Ch., F. (Ed.), *Memorias del Primer Foro Sobre Avances y Presentación de Líneas de Investigación*. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, 23-25 de enero de 2001. Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 13-25.
- Zavala Ch., F. 2001e. Pérdida de humedad y germinación de semillas en cinco especies de encinos del centro de México. *Memorias en Extenso del V Congreso Nacional Sobre Recursos Forestales*. Guadalajara, Jal., 7-9 de noviembre de 2001. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, México, D. F. México. 10 p.
- Zavala Ch., F. 2001f. (Ed.). *Memorias del Primer Foro Sobre Avances y Presentación de Líneas de Investigación*. Enero 23-25 de 2001. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 75 p.
- Zavala Ch., F. 2002a. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schlecht. en el Parque Nacional El Chico, Hgo., México. II: población de juveniles y algunos datos de semillas. *Ciencia Ergo Sum* 9 (2): 177-183.
- Zavala Ch., F. 2002b. Encinos y robles: notas fitogeográficas. México. Universidad Autónoma Chapingo. Edo. de Méx., México. 44 p.
- Zavala Ch., F. 2002c. Fenología del romerillo (*Taxus globosa* Schlecht.) en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo. In: Corlay-Chee, L., F. Zavala Ch., J. A. Cuevas S., E. Guízar N., J. Pineda P., E. Robledo S., M. E. Rivas G. y R. Maldonado T. (Eds.): *Recursos Naturales: conservación y aprovechamiento*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 183-188.
- Zavala Ch., F. 2003a. Delimitación del ciclo reproductivo de *Taxus globosa* Schlecht. en El Chico, Hidalgo. In: Corlay-Chee, L., F. Zavala Ch., J. Pineda P., E. Robledo S. y R. Maldonado T. (Eds.). *Suelo y Bosque: Conservación y Aprovechamiento*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. pp. 123-129.

- Zavala Ch., F. 2003b. Identificación de encinos de México. 2ª. Ed. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 188 p.
- Zavala Ch., F. 2004a. Almacenamiento, viabilidad y germinación de bellotas de dos especies de encinos de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. *In*: Zavala Ch., F., A. Borja de la R., J. G. Álvarez M. y R. Campos B. (Eds.). Recursos Forestales: Aprovechamiento, Manejo y Conservación. CD-ROM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 9 p.
- Zavala Ch., F. 2004b. Deseccación de bellotas y su relación con la viabilidad y germinación en nueve especies de encinos mexicanos. *Ciencia Ergo Sum* 11 (2): 177-185.
- Zavala Ch., F. 2005. Germinación de semillas de *Taxus globosa* Schlecht. bajo condiciones naturales y *ex situ*. *In*: Zavala Ch., F. y J. G. Álvarez M. (Eds. y Comps.). Enfoques y Perspectivas de la Investigación y Uso de los Recursos Forestales. CD-ROM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. . 9 p.
- Zavala Ch., F. 2007. Guía de los encinos de la Sierra de Tepetzotlán, México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 89 p.
- Zavala Ch., F. y E. García M. 1990. Iniciación de conos femeninos de *Pinus cembroides* Zucc. *Acta Botánica Mexicana* 10: 31-44.
- Zavala Ch., F. y E. García M. 1991. Fenología y crecimiento del brote anual de *Pinus cembroides* Zucc. de San Luis Potosí. *Biotam* 3(2): 5-14.
- Zavala Ch., F. y E. García M. 1996. Frutos y semillas de encinos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. 53 p.
- Zavala Ch., F. y E. García M. 1997. Plántulas y rebrotes en la regeneración de encinos en la Sierra de Pachuca, Hidalgo. *Agrociencia* 31 (3): 323-329.
- Zavala Ch., F. y E. García M. 1998. Consideraciones sobre la dinámica de plántulas de encinos en la Sierra de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4(1): 207-214.
- Zavala Ch., F. y J. G. Álvarez M. (Eds. y Comps.). 2005a. Enfoques y perspectivas de la investigación y uso de los recursos forestales. CD-ROM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 163 p.
- Zavala Ch., F. y J. G. Álvarez M. 2005b. Condiciones del hábitat de *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. en el centro de México (estados de México e Hidalgo). *In*: Zavala Ch., F. y J. G. Álvarez M. (Eds. y Comps.). Enfoques y perspectivas de la investigación y uso de los recursos forestales. CD-ROM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 7 p.

- Zavala Ch., F. y J. L. Campos D. 1993. Una nueva localidad de *Pinus discolor* Bailey & Hawksworth en el centro de México. *Acta Botánica* 25: 21-25.
- Zavala Ch., F. y T. Méndez M. 1996. Factores que afectan la producción de semillas en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana* 36: 1-13.
- Zavala Ch., F., A. Borja de la R., J. G. Álvarez M. y R. Campos B. (Eds.). 2004. Recursos forestales: aprovechamiento, manejo y conservación. CD-ROM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 93 p.
- Zavala Ch., F., E. Estrada M. y V. J. Arriola P. 1999. Los encinos del herbario de la Universidad Autónoma Chapingo. México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México 116 p.
- Zavala Ch., F., J. A. Ávila N. y E. García Moya. 1994. Plasticidad de las hojas de *Pinus cembroides* Zucc. *Biotam* 6(2):17-28.
- Zavala Ch., F., M. Soto H. y M. T. Rodríguez G. 2001. El romerillo (*Taxus globosa* Schlectht.): biología, dificultades y perspectivas de su uso. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 7 (1): 77-94.
- Zavala Ch., F.† 2008. Efecto del almacenamiento sobre la viabilidad y la germinación de bellotas de *Quercus rugosa* y *Quercus glabrescens*. *Rev. Cien. For. en Méx.* 33 (103): 15-26.

RESEÑA DE FOLLETOS TÉCNICOS DEL CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO, CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORESTE

Georgel Moctezuma López¹

A partir de este número se inicia una nueva sección que tendrá como objetivo el reseñar los diversos materiales (libros, boletines y folletos técnicos y divulgativos) que se publiquen con relación al quehacer de la investigación forestal en todas sus disciplinas. De esta manera el Comité Editorial de la Revista Ciencia Forestal en México espera coadyuvar en la difusión de dichas publicaciones, considerando la amplia cobertura, tanto nacional como internacional que tiene la revista y fortalecer la comunicación entre investigadores, académicos, estudiantes, directivos y tomadores de decisión del ámbito forestal.

La primera reseña se relaciona con tres trabajos de investigación forestal, los cuales fueron desarrollados en el Campo Experimental Saltillo, adscrito al Centro de Investigación Regional del Noreste del INIFAP. Los folletos en cuestión son:

Calidad de planta en vivero y prácticas que Influyen en su producción.

Los autores, M. en C. Antonio Cano Pineda, Investigador Titular del Programa de Recursos Forestales Maderables del campo mencionado y el Dr. Víctor M. Cetina Alcalá, Profesor Investigador del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, generaron dicho manual como producto de la investigación realizada dentro del proyecto de investigación titulado "Estudios del Comportamiento en Campo para algunas Coníferas Destinadas a Reforestación en el Noreste de México", auspiciado por el Sistema de Investigación Regional Alfonso Reyes del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

El documento está integrado fundamentalmente por dos capítulos: 1) el del manejo en vivero y su impacto en la calidad de planta y 2) los criterios de calidad de planta. Para el tema de manejo, la apariencia física de la planta depende tanto del genotipo como del ambiente que rodea al vivero y que suele ser llamado efecto vivero. Destacan varios elementos:

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

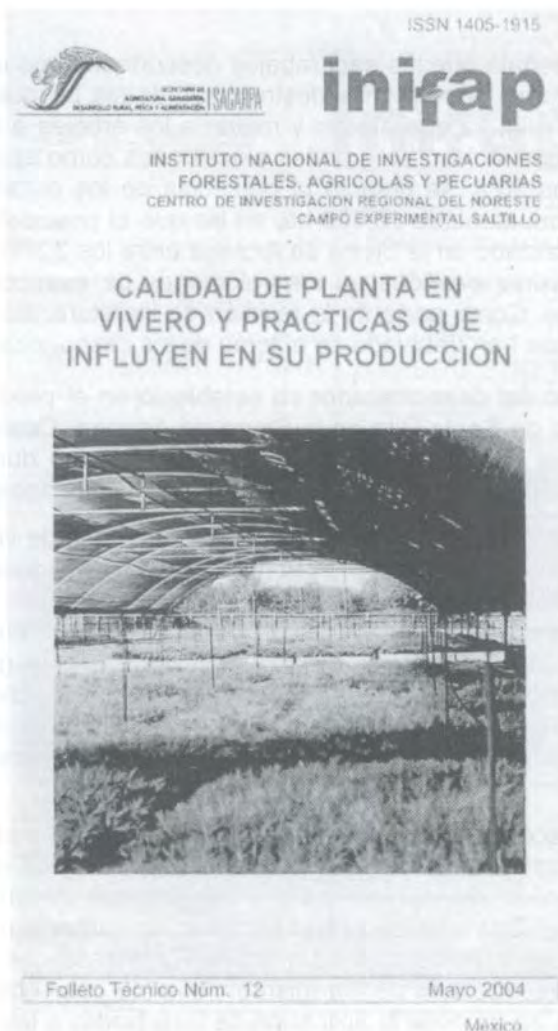
El primero se refiere a la ubicación del vivero, cuyo propósito es el de modificar el ambiente natural con respecto a la humedad, la temperatura y la luz. El segundo es el de los envases o contenedores, los cuales pueden consistir en bolsas negras de polietileno o en contenedores rígidos de plástico de alta o baja densidad, que deben de proveer un medio adecuado de crecimiento con aire, agua, nutrimentos y soporte fijo. El tercero describe los sustratos de crecimiento tales como composta, arena, turba, vermiculita, etc., que deben de ser firmes para mantener a la semilla durante la germinación, con suficiente retención de humedad, adecuada porosidad, libre de plagas, enfermedades y malezas con pH entre 5 y 7 y adecuada capacidad de intercambio catiónico. El cuarto indica que para la siembra es necesario evaluar la pureza de la semilla, su peso, el porcentaje de germinación y el vigor para determinar la densidad de siembra. El riego como quinto elemento, es el principal factor de crecimiento y deberá ser calculado para cada vivero dependiendo del clima, contenedor y sustrato. El sexto elemento es el de la fertilización, que se aplica en función de la tasa y el tipo de crecimiento de las plantas y cuya falta puede provocar *stress* fisiológico. El séptimo elemento corresponde a las podas, ya sea de tallo o de raíz, que ayudan a mejorar la calidad de la planta en el vivero. El octavo es el de las micorrizas, encargadas de la asimilación del agua y minerales; favorecen que no se presenten problemas de pudrición de la raíz y finalmente, en este apartado mencionan los factores ambientales; temperatura, humedad relativa e irradiación solar (intensidad, duración y calidad).

El segundo capítulo abordado fue el de criterios de calidad de la planta que incluye características morfológicas y fisiológicas, agrupadas en dos categorías: 1. Atributos materiales y 2. Atributos de respuesta.

En la primera categoría se cita la altura, diámetro, arquitectura de la raíz, arquitectura del tallo, peso o biomasa total, índices morfológicos de los que destacan la relación parte aérea/raíz, el índice de esbeltez, el índice de calidad de Dixon, las relaciones hídricas, los carbohidratos y el estado de la yema terminal.

En la categoría de atributos de respuesta destacan como las más importantes a la prueba de potencial de crecimiento de la raíz, que es la capacidad de las plántulas para hacer crecer sus raíces cuando se colocan en un ambiente favorable, y la prueba de resistencia al estrés o tolerancia a la deshidratación, que es la capacidad de la planta para sobrevivir a uno o varios factores desfavorables y continuar creciendo y desarrollando en ese medio.

Finalmente los autores consideran que el viverista debe tomar en cuenta, además de la especie, las características morfológicas y fisiológicas que permitan a la plántula una alta probabilidad de establecimiento en campo; antes de trasladarlas al campo es conveniente clasificar los lotes por nivel de calidad para disminuir el riesgo de muerte. Es necesario monitorear el desarrollo de los lotes de plantación durante todo el proceso de producción.



Manejo del descortezador *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins en los bosques de Coahuila.

Los autores de la investigación son el Dr. José Alfredo Sánchez Salas, Investigador Titular del Programa de Entomología y el M.C. Luis Mario Torres Espinosa, Investigador Titular del Programa de Conservación, Protección y Restauración Forestal, ambos del Campo Experimental Saltillo adscrito al CIRNE – INIFAP.

En el trabajo se señala que los escarabajos descortezadores que pertenecen al género *Dendroctonus* son los más destructores de los bosques de coníferas del Estado de Coahuila, ya que atacan y matan a los árboles a nivel individual, en pequeños grupos e incluso en grandes extensiones como epizootias. Al final de la década de los 90's, se detectó la presencia de los escarabajos en una superficie de aproximadamente 12,000 ha, en las que el principal hospedero fue el *Pseudotsuga*, localizado en la Sierra de Arteaga entre los 2,300 y 3,200 msnm. y que sufrieron severas pérdidas en los volúmenes de extracción y un grave deterioro del paisaje. Como parte de la revisión de literatura, los investigadores citan a 23 autores que han trabajado en el tema de los descortezadores.

El sitio de estudio del descortezador se estableció en el predio denominado La Ciruela del Ejido de Santa Rita en la Sierra de Arteaga, Coah.; se hace una descripción detallada del descortezador y su ciclo biológico durante 146 días, que inició en los meses de abril - mayo y terminó a finales de agosto.

Los síntomas se asocian con el color del follaje, que pasa de verde alimonado a amarillento, que posteriormente se torna rojizo y finalmente grisáceo; el ataque se puede detectar por la presencia de aserrín en la corteza de la base del fuste, y lo inician en los meses de abril y mayo: Consiste en la colonización por las hembras mediante la penetración del fuste; ahí construye la galería principal donde entra el macho y se aparean para ovipositar en la hendiduras, las cuales van aumentando de tamaño conforme lo hace la talla de la larva, lo que concluye con el estado adulto, cuando perforan la corteza para dispersarse iniciar un nuevo ciclo.

El manejo del descortezador requiere del conocimiento del insecto, productos químicos y biológicos, uso de trampas y feromonas y métodos silvícolas con el fin de llevar a cabo un manejo integrado y así proteger de una manera más eficiente el bosque. Con ello se pretende tener un mejor control y durante los meses de agosto a noviembre para árboles infestados se recomienda el derribo, troceo y descortezado de los mismos; cuando el insecto se encuentra en su estado adulto, se propone la aplicación de insecticidas a las trozas, pero es una práctica incosteable. Además es preciso el que los árboles que no hayan sido descortezados, sean sacados del predio, ya que el ciclo biológico continúa aún en árboles derribados. Finalmente, los investigadores hicieron la sugerencia de que se utilicen trampas cebadas con feromonas para el monitoreo y captura de los descortezadores, como una alternativa más en el manejo integrado de esta plaga.



inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL DEL NORESTE
CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO

MANEJO DEL
DESCORTEZADOR
Dendroctonus pseudotsugae
Hopkins EN LOS BOSQUES
DE COAHUILA



Folleto Técnico Num. 15

Agosto 2004

México

Análisis dimensional y tablas de producción de sotol (*Dasyliiron cedrosanum* Trel.) para el Estado de Coahuila.

Esta publicación es producto de la investigación que fue realizada de manera interinstitucional, ya que el equipo estuvo integrado por los M. en C. Antonio Cano Pineda, Investigador Titular de Viveros y Plantaciones Forestales, Carlos Alejandro Berlanga Reyes, Investigador Titular de Recursos Forestales No Maderables, David Castillo Quiroz, Investigador Titular de Recursos Forestales

No Maderables, Oscar Ulises Martínez Burciaga, todos ellos adscritos al Campo Experimental Saltillo del CIRNE y el Dr. Alejandro Zárate Lupercio, Maestro Investigador del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Dasyllirion cedrosanum Trel. es una planta nativa del desierto de Chihuahua que se desarrolla en lomeríos de suelos someros y bien drenados; es muy rústica y forma parte del matorral desértico. Pertenece a la familia Agavaceae y en México se reportan 14 especies y en particular para Coahuila se reportan sólo 5 especies, que se desarrollan en pastizales y matorrales desérticos del centro y sur del estado de Coahuila en altitudes de los 1,000 a los 2,000 m.

Su uso principal es la elaboración de sotol, que es un aguardiente destilado, con denominación de origen, que ha alcanzado los mercados nacional e internacional, y representa una opción para generar ingresos económicos para los dueños del recurso. Por lo tanto, es necesario el conocimiento de las existencias reales, ubicación y características de las plantas que integran las poblaciones naturales. El primer paso en este sentido consiste en la aplicación de la técnica de análisis dimensional del sotol con el fin de generar tablas de producción que se usen como herramienta para los inventarios y caracterización de la especie. Así, en este trabajo se plantea como objetivo, la determinación de una ecuación de predicción y una tabla de producción para la especie en el estado de Coahuila.

El análisis dimensional utilizado consideró la masa, la longitud y el tiempo y es un método rápido y no destructivo en la cuantificación de la dinámica de la biomasa de las plantas; es una técnica apropiada que considera un modelo matemático para estimar la biomasa de la especie en función de un sólido o área de una figura, construida a partir de las dimensiones tomadas de los individuos en campo. El método consistió en medir individuos de todos los diámetros de copa, altura y diámetro para cubrir el rango de variabilidad y cada uno de ellos fue cortado, medido y pesado. Con estos datos se realizó un análisis de regresión lineal y de los modelos que se generaron se seleccionó el de mejor ajuste a la variable de respuesta observada, que para el estudio fue la referida al peso y que arrojó el menor error. Las variables que se tomaron en cuenta para la selección de la muestra fueron altura de la planta, diámetro de cobertura, diámetro de la piña y altura de la piña.

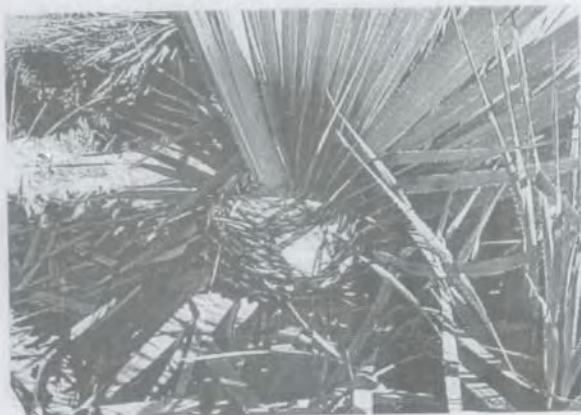
Con los datos obtenidos, el equipo de investigación determinó un modelo de predicción de peso verde de la piña, el cual se definió por la ecuación:

$$Y = -15.529 + 1.118 (X)$$

Donde:

Y = peso de la piña en kg.

X = diámetro de la piña en cm.

SECRETARÍA DE
AGRICULTURA, GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**inifap**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL DEL NORESTE
CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO**ANÁLISIS DIMENSIONAL Y TABLAS
DE PRODUCCIÓN DE SOTOL
(*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) PARA
EL ESTADO DE COAHUILA**

Folleto Técnico Num. 18

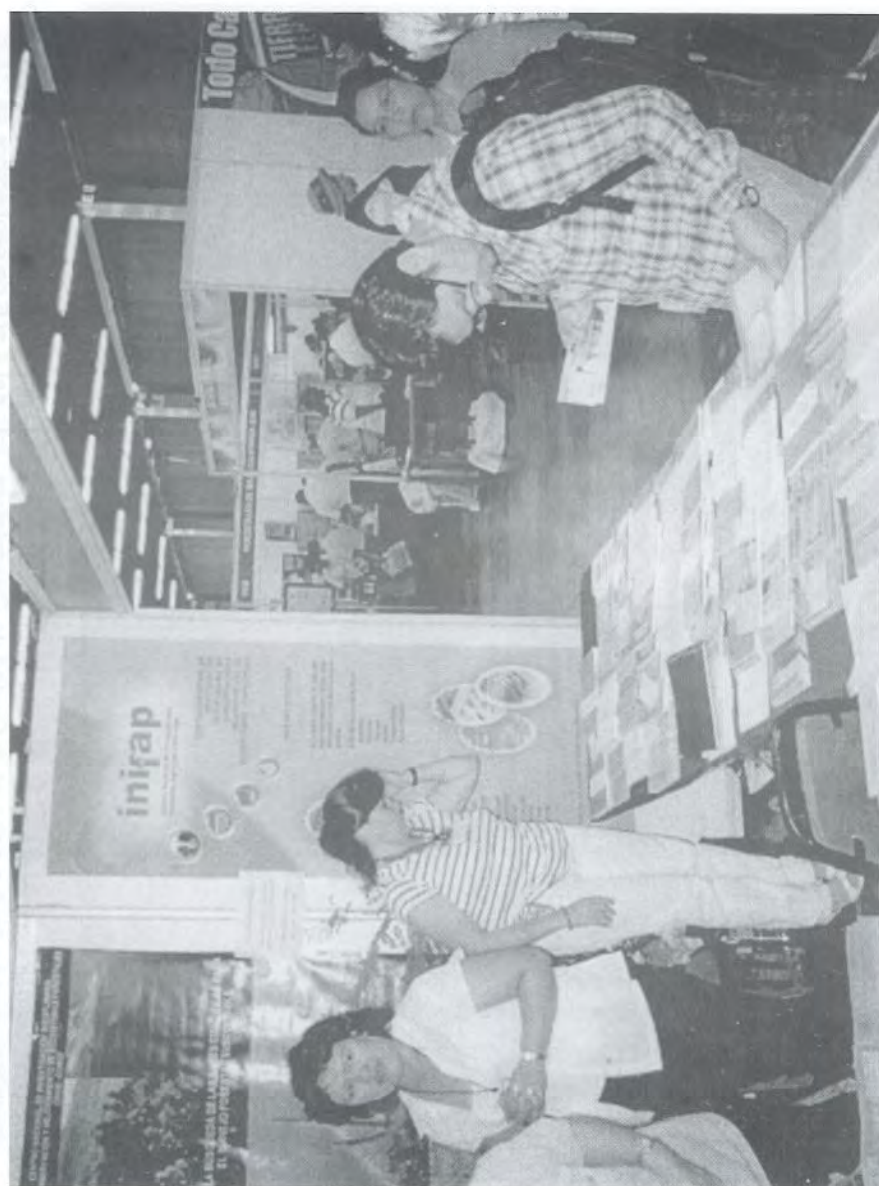
Marzo 2005

México

Se presenta una tabla de producción para sotol con plantas cuyo intervalo diamétrico de las piñas comprende de 16 a 58 cm, con límites de confianza de 95%. Se concluye que el uso en las tablas de producción para sotol es una herramienta útil para la estimación de producto aprovechable de las poblaciones naturales de la especie y el modelo de predicción generado por medio de la técnica de análisis dimensional permite estimar de manera sencilla y confiable la biomasa en pie para el sotol en el estado de Coahuila por medio de la medición de variables fácilmente obtenidas en campo.



Módulo de exposición y venta de la Revista *Ciencia Forestal en México* en la 6ta. Expo Forestal México Siglo XXI, que se llevó a cabo en la Ciudad de Guadalajara, Jal., del 4 al 6 de septiembre de 2008.



Módulo de exposición y venta de la Revista Ciencia Forestal en México en la 6ta. Expo Forestal México Siglo XXI, que se llevó a cabo en la Ciudad de Guadalajara, Jal., del 4 al 6 de septiembre de 2008.



Módulo de exposición y venta de la Revista *Ciencia Forestal en México* en la 6ta. Expo Forestal México Siglo XXI, que se llevó a cabo en la Ciudad de Guadalajara, Jal., del 4 al 6 de septiembre de 2008.



Módulo de exposición y venta de la Revista Ciencia Forestal en México en la 6ta. Expo Forestal México Siglo XXI, que se llevó a cabo en la Ciudad de Guadalajara, Jal., del 4 al 6 de septiembre de 2008.



Módulo de exposición y venta de la Revista Ciencia Forestal en México en la Expo Ambiente 2008, que se llevó a cabo en Veracruz, Ver., del 3 al 5 de junio de 2008.



Módulo de exposición y venta de la Revista *Ciencia Forestal en México* en la Expo Ambiente 2008, que se llevó a cabo en Veracruz, Ver., del 3 al 5 de junio de 2008.



Módulo de exposición y venta de la Revista *Ciencia Forestal en México* en la Expo Ambiente 2008, que se llevó a cabo en Veracruz, Ver., del 3 al 5 de junio de 2008.

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: 3626-8697
 Conmutador: 3626-8700 ext. 139

La Revista *Ciencia Forestal en México*, Vol. 33, Núm. 104, se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2008, en la Imprenta del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CENID-COMEF/INIFAP). Av. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán. C. P. 04010 México, D. F.

Elaboración de originales: Margarita Muñoz Morgado
 Formación y fotomecánica: Ismael Casas Díaz
 Impresión: César Caballero Rivas
 Encuadernación y terminado: José Alberto Díaz Durán y Tomás Muñoz Jiménez

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. 33

JUL-DIC 2008

NÚM. 104

CONTENIDO

	Pág.
CONSEJO CONSULTIVO Y CONSEJO EDITORIAL	3
CONSEJO ARBITRAL	5
EDITORIAL	11
RECONSTRUCCIÓN DE PRECIPITACIÓN ESTACIONAL DE <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco EN SIERRA LA MADERA, CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA José Villanueva Díaz, Julián Cerano Paredes y Juan Estrada Ávalos	17
FACTORES QUE INCIDEN EN LA SINIESTRALIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES Dante Arturo Rodríguez Trejo, Hugo Ramírez Maldonado, Hubert Tchikoué y Javier Santillán Pérez	37
ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL DEL PARQUE NACIONAL MALINCHE: TLAXCALA - PUEBLA Fabiola Rojas-García y Lourdes Villers-Ruíz	59
EL FUTURO DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO COMO ORIENTACIÓN ESTRATÉGICA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Georgel Moctezuma López, José Antonio Espinosa García, Alfredo Cruz Tapia Naranjo y Mario Alberto Guerrero González	87
ANATOMÍA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES DE <i>Quercus</i> (FAGACEAE) DEL ESTADO DE MÉXICO Carmen-de la Paz Pérez-Olvera, Irma Reyes Jaramillo y Silvia Rebollar Domínguez	103
ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS COMUNIDADES VEGETALES DEL ORÉGANO (<i>Lippia berlandieri</i> Schawer) EN MAPIMÍ, DURANGO, MÉXICO Martín Martínez Salvador y Dióodoro Granados Sánchez	125
LA SÍNTESIS DE ISOPRENOIDES EN PLANTAS A TRAVÉS DE LA VÍA DEL 2C-METIL-D-ERITRITOL-4-FOSFATO (MEP) Angeles Cancino-Rodezno	139
INDICADORES AMBIENTALES: LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Carlos Mallén Rivera	155
SEMBLANZA DEL DR. FERNANDO ZAVALA CHÁVEZ: HOMENAJE PÓSTUMO Emma Estrada Martínez	191
RESEÑA DE FOLLETOS TÉCNICOS DEL CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO, CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORESTE Georgel Moctezuma López	205
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO	213