

Autenticidad forestal en el suroeste de la Ciudad de México. Hacia la restauración ecológica de los servicios ambientales

Forest authenticity in southwest Mexico City. Towards ecological restoration of ecosystem services

Autenticidade da floresta no sudoeste da Cidade de México.
Em direção da restauração ecológica dos serviços do ecossistema

Víctor Ávila-Akerberg* y **Lucia Almeida Leñero****

Recibido: 15-05-09 / Aceptado: 12-06-09

Resumen

Uno de los problemas más frecuentes en la planeación de las alternativas de manejo en áreas naturales consiste en la falta de información sobre las características de estructura y función de los bosques. Ante esto, han surgido diversas aproximaciones que permiten evaluar la calidad o el estado de algún sitio con el propósito de mejorarlo, o aprovecharlo mejor. En 1998, el WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza) y la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) iniciaron una colaboración con el objetivo de desarrollar un método para evaluar la calidad forestal a nivel de paisaje. El método propuesto por WWF-UICN utiliza la calidad forestal como el criterio y subdivide los indicadores en tres categorías que se superponen: autenticidad forestal, servicios ambientales y otros beneficios sociales y económicos. Esta investigación consolida los elementos propuestos en el concepto de la "autenticidad forestal", para así integrar la información requerida en la generación de una propuesta de lineamientos de manejo con fines de restauración y conservación de los servicios ambientales en el suroeste de la Ciudad de México. Esta zona se presenta a lo largo de un intervalo altitudinal de los 2470 a los 3870 msnm y abarca una extensión de 6,000 ha aproximadamente. Ésta es una de las principales áreas de recarga de los mantos acuíferos de la ciudad de México, posee más del 2% de la flora vascular y todos los tipos de vegetación templados del país.

* Institut für Landespflege, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Tennenbacher Strasse 4, Freiburg im Breisgau, Alemania, E-mail: vicaviak@gmail.com.

** Laboratorio de Ecosistemas de Montaña, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM, México. E-mail: lucia0950@yahoo.com

Recabando información ecológica en campo sobre composición, estructura y función de los bosques, así como entrevistas a los principales actores, para recabar las percepciones sobre los servicios ambientales que provee el área y la problemática ambiental, así como análisis multicriterio para ponderar las variables utilizadas, se llegó a un mapa que refleja la calidad forestal del área. Se pretende que la información generada sea la base para la restauración de los principales servicios ambientales del área.

Palabras clave: bosques templados, autenticidad forestal, restauración ecológica, evaluación multicriterio, cuenca del río Magdalena, México.

Abstract

One of the most frequent problems on planning management alternatives for protected areas, is the lack of information on forest composition, function and structure. From this, several initiatives have been developed to assess the quality or state of a site, with the aim of improving or better manage it. In 1998, the WWF (World Wide Fund for Nature) and the IUCN (International Union for the Conservation of Nature) developed an initiative to evaluate the forest quality at the landscape level. The concept proposed by WWF and IUCN (1999) utilizes the forest quality as the principle and subdivides criteria in three overlapping categories: forest authenticity, environmental benefits and social and economic benefits. This project consolidates the elements proposed in the "forest authenticity" concept, in order to integrate the needed information for the generation of management proposals towards ecological restoration and conservation of ecosystem services in the southwest of Mexico City. The area extends over an altitudinal gradient from 2470 to 3870 masl with a total area of around 6,000 ha. Its one of the main Mexico City's aquifer recharge areas, it has more than 2% of the total vascular flora of Mexico and all the temperate vegetation types of the country. Gathering ecological information on field of the forests plant composition, structure and function, interviews with the main stakeholders about their perceptions on ecosystem services and the environmental problematic of the area, and expert interviews for the ponderation of the used variables, an interpolated map was generated that reflects the forest quality of the zone. It is intended that the information generated, will be the basis for the ecological restoration of the main ecosystem services in the area.

Key words: temperate forests, forest authenticity, ecological restoration, multicriteria evaluation, Magdalena river watershed, Mexico.

Resumo

Um dos problemas mais freqüentes no planejamento em áreas protegidas é a falta de informação sobre as características de estrutura e funcionamento das florestas. Disto, várias iniciativas foram desenvolvidas pra avaliar a qualidade ou estado de um local, com o objetivo de melhorar-lhe ou aproveitarle melhor. Em 1998, o WWF (Fundo Mundial para a Natureza) e o UICN (União Internacional para a Conservação de Natureza) desenvolveram uma iniciativa pra avaliar a qualidade de floresta no nível de paisagem. O conceito proposto por WWF e UICN (1999) utiliza a qualidade de floresta como o princípio e subdivide aos critérios em três categorias que sobrepõem: autenticidade florestal, benefícios do ambiente e benefícios sociais e econômicos. Este projeto consolida os elementos propostos no conceito de autenticidade florestal, para integrar a informação necessária na geração de propostas de manejo em direção da restauração ecológica e conservação dos serviços do ecossistema no sudoeste da Cidade do México. A área estende sobre um gradiente de altitude de 2470 a 3870 msnm com uma área total de ao redor de 6.000 ha. É uma das principais áreas de recarregamento do mato aquífero na Cidade do México, tem mais do 2% da flora vascular total de México e todos os tipos temperados de vegetação do país. Reunindo informação ecológica de campo sobre a composição, estrutura e função da floresta, entrevistas com os principais interessados sobre suas percepções em serviços do ecossistema e a problemática ambiental da área, assim como entrevistas aos expertos para a ponderação das variáveis utilizadas, um mapa interpolado que reflexa a qualidade da floresta foi feito. É pretendido que a informação gerada seja a base para o planejamento da restauração ecológica dos serviços do ecossistema.

Palavras clave: florestas temperadas, autenticidade da floresta, restauração ecológica, avaliação multicriterio, cueca do rio Magdalena, México.

Introducción

Crterios e indicadores en diferentes escalas para evaluación del manejo forestal sostenible

En la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992, dirigentes mundiales reconocieron la importancia del desarrollo sustentable de los bosques con la adopción de la Declaración de Principios sobre los Bosques y el

Programa 21, plan de acción para el desarrollo sustentable internacional. Los gobiernos y grupos no gubernamentales (ONGs) reconocieron enseguida la necesidad urgente de llegar a un acuerdo común sobre lo que se entiende por manejo forestal sostenible (MFS) y la forma de lograrlo.

A partir de la Cumbre de Río, se han iniciado diversas iniciativas nacionales e internacionales a fin de ampliar los conocimientos y evaluar los avances respecto al MFS. De éstas, las más completas y con posibilidades de tener un mayor alcance son las iniciativas regionales e internacionales sobre criterios e indicadores (C + I) para el MFS, que actualmente involucran a más de 100 países. Los criterios son categorías de valores de los bosques que se desean mantener y los indicadores son aspectos mensurables de estos criterios.

De todas las iniciativas relacionadas con los C + I, el Proceso de Montreal es la más amplia en términos geográficos, ya que abarca la mayor parte de los bosques templados y boreales de todo el mundo (El Proceso de Montreal, 2008). Entre las iniciativas similares están: la Conferencia Ministerial sobre la Protección de los Bosques en Europa, la Propuesta de Tarapoto de los Países de la Región Amazónica, iniciativas regionales de América Central, de Medio Oriente y de la zona árida de África y la Organización Internacional de Maderas Tropicales, pioneros desde 1990 en trabajos sobre criterios e indicadores para el manejo forestal sostenible en ecosistemas tropicales (Tabla 1).

Tabla 1. Iniciativas que han generado criterios e indicadores para evaluar el MFS.

Escala	Iniciativa
Global , con evaluaciones a nivel de naciones	UN-CDB, ITTO (Organización Internacional de Maderas Tropicales), UN Forest Resource Assessment, UN Internacional Forum on Forests (IFF), UN FAO
Regional , con evaluaciones a nivel de naciones	Procesos: Pan-Europeo, Montreal, Helsinki, Proceso Tarapoto, Zonas Áridas de África, Bosques Secos en Asia, Centroamérica, etc.
Nacionales , de autoevaluación	Francia, Finlandia, Estados Unidos, Canadá
Paisaje	Evaluación de la Calidad Forestal (WWF y IUCN)
De rodiles forestales (stand level)	Forest Stewardship Council, ISO 14001, World Resource Institute

Los C + I caracterizan los componentes fundamentales del MFS y proporcionan un marco para responder a la pregunta básica “¿qué es lo importante con respecto a los bosques?” Además, reconocen a los bosques como ecosistemas que proporcionan una amplia gama compleja y dinámica de beneficios y servicios ambientales y socioeconómicos. Al ser aplicados para medir y evaluar las tendencias nacionales en las condiciones y el manejo de los bosques, los criterios e indicadores proporcionan información esencial para la formulación de políticas que promuevan el MFS.

La necesidad de contar con indicadores radica en que el monitoreo de todo un ambiente en cualquier escala es imposible. Los indicadores pueden ser útiles durante varias etapas dentro del trabajo de conservación. Son especialmente valiosos en la fase de inventarios e identificación, en la que uno evalúa la distribución de entidades biológicas y ambientales e identifica o selecciona las áreas que deben ser conservadas o restauradas.

Calidad Forestal en nivel de Paisaje

En 1998, el programa unido entre el WWF (World Wide Fund for Nature) y la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) inició una colaboración con la École Polytechnique Fédérale de Laussane. El objetivo de esta asociación fue desarrollar un método para evaluar la calidad forestal a nivel de paisaje. Un paisaje de acuerdo con varios autores, puede definirse como una unidad espacial cartografiable, conformada por elementos bióticos, abióticos, socioeconómicos, culturales, etc., que determinan en conjunto, una funcionalidad y dinámica (Forman y Godron, 1986; Cervantes, 1989).

Definen la calidad forestal como “la significancia y valor de todos los componentes ecológicos, económicos y sociales de un bosque” (WWF y UICN, 1999). Ésta puede ser tan importante como la cantidad de bosque que queda. Los criterios de la calidad forestal están dirigidos hacia el logro de una medición de ésta como herramienta para la planeación del manejo en nivel del paisaje.

El concepto de calidad forestal surgió inicialmente para explicar claramente lo que un bosque proporciona tanto a la sociedad humana como al ambiente. El término calidad fue seleccionado por varias razones. De manera general, se reconoce como un término positivo y poderoso, enfocándose

en los beneficios y oportunidades. Además, puede ser utilizado para incluir toda una gama de valores ecológicos, sociales y económicos y se traduce fácilmente a muchas otras lenguas (WWF y UICN, 1999). Fue inicialmente propuesto para explicar de manera simple y clara lo que los bosques pueden aportar tanto al ser humano como a la naturaleza misma.

El método propuesto por el WWF y la UICN utiliza la calidad forestal como el criterio y subdivide los indicadores en tres categorías que se sobrepone: autenticidad (Tabla 2), servicios ambientales (Tabla 3) y otros beneficios sociales y económicos (Tabla 4). Estos criterios, a su vez, contienen indicadores y algunos ejemplos de lo que se puede evaluar en campo para reconocer la calidad o funcionamiento actual de un ecosistema forestal dado.

Tabla 2. Indicadores de autenticidad forestal.

Composición – Proporción de especies nativas vs. exóticas, de las diferentes especies nativas, ausencia de especies normalmente presentes en condiciones naturales, especies clave e indicadoras de disturbio
Patrones - Variación intraespecífica en tamaños y clases de edad, dosel con varios estratos y zonas abiertas, madera muerta en diferentes grados de descomposición
Función - Ciclos de nutrientes, cambios en la cobertura forestal, cadena alimenticia, relaciones entre especies por herbivoría, simbiosis, parasitismo, etc.
Proceso – Patrones de regeneración, cambios graduales en el tiempo, longevidad de árboles, regímenes de disturbio
Salud arbórea - Salud de los árboles y ecosistemas, presencia y tendencias de factores de estrés (contaminación, plagas, etc.), habilidad para tolerar estrés ambiental, estado de descomposición de madera muerta, niveles no naturales de especies de plagas
Área – Tamaño, bordes, conectividad con otros bosques
Fragmentación – Grado de fragmentación (parches con y sin vegetación)
Prácticas de manejo – Imitación de procesos ecológicos, integración del bosque al paisaje

La escala del área de estudio en esta investigación es a nivel de paisaje y el objetivo principal es generar un diagnóstico ambiental, para dar una propuesta de los lineamientos de manejo hacia la conservación y restauración ecológica de los bosques en la zona de estudio. Es por esto que se utilizó la propuesta teórica elaborada por WWF y UICN para la evaluación de la calidad forestal como una guía para lograrlo.

Tabla 3. Indicadores de servicios ambientales

Conservación de la biodiversidad – De ecosistemas, especies y variabilidad genética
Protección del suelo y cuencas – Reducción de la erosión, control de inundaciones
Impactos sobre otros ecosistemas – Sobre ecosistemas cuenca abajo, por deforestación y erosión
Estabilización climática – Transpiración, regulación de extremos climáticos, fijación de carbono

Tabla 4. Indicadores de otros servicios económico-sociales

Productos maderables – Madera como combustible, carbón, tablas, pulpa, papel, fibras reconstituidas
Productos no maderables – Alimentos, aceites, aromáticos, resinas, colorantes, materiales de construcción, etc.
Empleo y subsistencia – Trabajo para el manejo, cazadores, utilización de madera como combustible y alimento para el ganado impactos sobre otros hábitat naturales o semi-naturales
Recreación – Caminata, caza, deporte, ecoturismo, áreas de campamento, recolección de hongos, etc.
Habitación – Para humanos que habitan en la zona e indígenas
Valores históricos – Incluyendo artefactos históricos en el bosque y patrones históricos de manejo del bosque mismo
Valores culturales y artísticos – Para escritores, pintores, músicos y como fuente de inspiración para cualquiera
Valores espirituales – Árboles y cuevas sagradas, sitios con tumbas, creencias particulares, etc.
Manejo y uso del suelo – Tipos de sistemas de manejo, incentivos, etc.
Derechos y factores legales – Acceso a los bosques, tenencia de la tierra, derechos tradicionales
Conocimiento – Conocimiento indígena y tradicional, investigación científica
Naturaleza de los incentivos – Políticos, culturales, económicos, sociales, etc.
Distintividad local – La importancia de un lugar particular para individuos o comunidades

Análisis multicriterio

El análisis multicriterio es una herramienta de toma de decisiones desarrollada para problemas complejos y de criterios múltiples, que incluyen aspectos cualitativos o cuantitativos de un problema en el proceso de toma de decisiones. Es una herramienta que puede servir para evaluar la importancia relativa

de todos los indicadores utilizados y reflejar su importancia en el proceso final de la toma de decisiones. Se basa en la utilización de criterios que son ponderados de acuerdo con la importancia para la pregunta objetivo. De este modo, se consulta la opinión de expertos, literatura especializada, etc., para asignar así el nivel de importancia de los criterios o variables utilizadas. Si estos criterios han sido evaluados en campo, se puede conseguir un análisis integral, que permite mostrar la mejor opción, tomando en cuenta la opinión de diferentes expertos (Malczewski, 1999).

En México, las herramientas del análisis multicriterio no han sido muy utilizadas en investigaciones realizadas en áreas protegidas con fines de generar alternativas de manejo. Ceballos y Blanco (Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003) definieron áreas propensas al cultivo de papa y maíz en un área protegida del Estado de México, utilizando las herramientas del análisis multicriterio y los SIG. Estos autores sugieren que esta metodología es adecuada cuando se manejan diversas variables, cualitativas y cuantitativas, con el objetivo final de generar una propuesta concreta de acciones de manejo.

Métodos

Área de estudio

La Ciudad de México se encuentra dentro de la Cordillera Volcánica Transmexicana (CVT), en la provincia florística de las Serranías Meridionales, dentro de la región Mesoamericana de Montaña (Rzedowski, 1978). Esta área forma parte de la CVM en la vertiente occidental de la sierra de las Cruces con un intervalo altitudinal de los 2.530 a los 3.870 msnm y una extensión aproximada de 6.000 ha (Figura 1). El área de estudio contiene la cuenca de uno de los últimos ríos vivos en la Ciudad de México, el río Magdalena.

El Distrito Federal obtiene el agua que requiere para sus actividades de tres fuentes principales: 71% se extrae de los mantos acuíferos (Mazari-Hiriart, 2000), 26,5% proviene de las cuencas de los ríos Lerma (Estado de México) y Cutzamala (Guerrero) y, el resto, de las pocas fuentes superficiales que aún quedan en la cuenca de México, como el río Magdalena (Corenader, 2003).

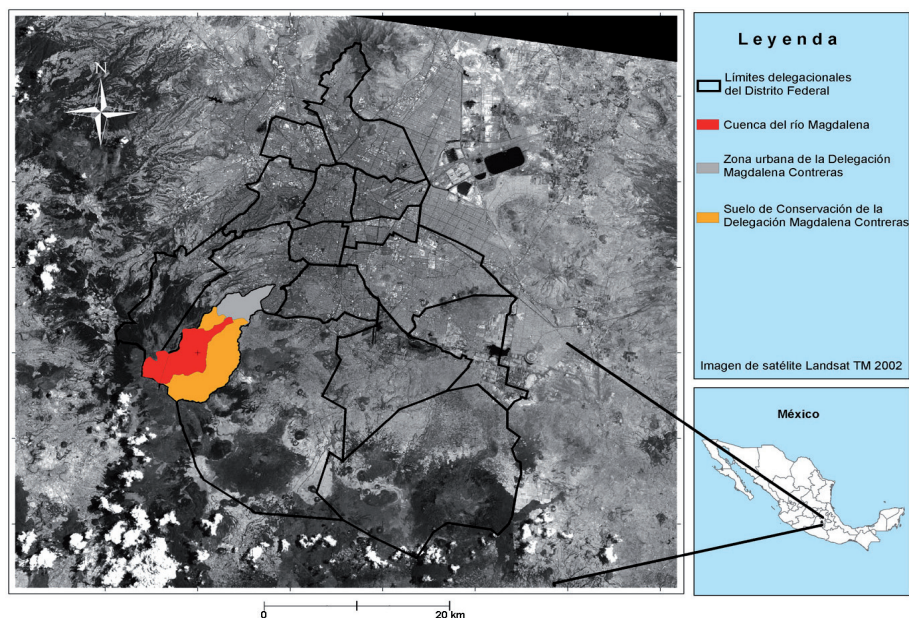


Figura 1. Localización del área de estudio con respecto a México y al Distrito Federal.

A lo largo del gradiente altitudinal, se distribuyen los tipos de vegetación templados principales del país: bosque de encinar (*Quercus* sp.) en la parte baja, bosque mesófilo de montaña (sensu Rzedowski, 1970), bosque de oyamel (*Abies religiosa* H.B.K) en la parte media y bosque de pino en las zonas altas (*Pinus hartwegii* principalmente). De acuerdo con Avila-Akerberg (2002; 2008), en la zona existen alrededor de 600 especies de plantas, lo que equivale a más del 2,5% del total de la flora en México.

A pesar de la importancia del área, su situación legal representa un desorden administrativo en el que no es claro a quién compete su administración y qué restricciones de uso presenta. Actualmente, cuenta con un acuerdo y un decreto de protección. El primero corresponde a la declaratoria del acuerdo de 1932, en la que se declaró la “Zona Protectora Forestal Bosques de la Cañada de Contreras” con una extensión de 3.100 ha, y el segundo es un decreto presidencial en el que se declara “Zona de Protección Forestal del río Magdalena” en mayo de 1947 a la zona comprendida por “una faja de 12

km desde su nacimiento aguas abajo y anchura de 500 metros a cada lado de su cauce". Por otro lado, el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, publicado oficialmente en 2000, se contrapone parcialmente tanto al Acuerdo como al Decreto, considerando como área natural protegida una superficie de sólo 215 ha con categoría de Zona Protectora Forestal.

Encuesta multicriterio

A partir de la información obtenida en campo sobre los indicadores de autenticidad forestal, se diseñó una encuesta en forma de matriz de comparación pareada para la determinación de los pesos de las variables tomadas en cuenta. El peso relativo de los verificadores se obtiene a través de comparaciones pareadas de los componentes de cada nivel jerárquico. Para v componentes, se genera la matriz recíproca, $C=[c_{pr}]$; así que $c_{pr}=1/c_{rp}$ para $p,r=1,2,\dots,v$. El comparar la importancia relativa w del elemento p con respecto al componente r resulta en un valor de $c_{pr}=w_p/w_r$. El número total de comparaciones es $v(v-1)/2$ debido a que la diagonal de la matriz C consiste en elementos unitarios. Los pesos en la metodología de comparación pareada son determinados a partir de la normalización del auto vector asociado con el valor máximo del auto valor del cociente (recíproco) de la matriz (Malczewski, 1999).

Esta encuesta fue aplicada a diferentes especialistas, tratando de que éstos cubrieran las áreas de las variables a evaluar. La encuesta contiene siete matrices (cada una correspondiente a un indicador de la autenticidad) en las que se evalúa por indicador, la importancia relativa de las variables utilizadas en esta investigación como verificadores de la autenticidad forestal. Al final, se evalúan los diferentes indicadores en general (composición, procesos, patrones, función, manejo, área y fragmentación, salud arbórea) para conocer cuál de ellos contiene las variables más importantes.

Este tipo de evaluación se hace uno a uno (fila vs. columna) y tomando siempre como referencia las filas en una escala de 6 a 1/6. Por ejemplo, si se está evaluando la variable riqueza contra el índice de diversidad de Shannon y se considera que la riqueza es lo menos importante con respecto al índice de diversidad de Shannon, en la casilla se anotaría 1/6. Por el contrario, si se considerara que la variable riqueza es lo más importante con relación al índice de diversidad de Shannon en la casilla se anotaría 6. A las variables con igual

importancia se les asigna 1 y sólo se rellena el triángulo superior derecho de la matriz, ya que el triángulo inferior izquierdo es el inverso. La escala de asignación de valores a los distintos verificadores de la autenticidad forestal fue de 6 a 1/6 (6, 5, 4, 3, 2, 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6), siendo los valores enteros los que dan mayor importancia a las variables de las filas y los números quebrados los que reflejan una mayor importancia de las variables en las columnas.

Síntesis de los datos de los indicadores de autenticidad forestal recabados en campo

Durante el verano de 2002, se obtuvieron datos en un total de 58 parcelas de muestreo, que en total suman 3,6 ha. La información recabada en campo en cada parcela de muestreo cubrió por lo menos un verificador de cada uno de los indicadores de autenticidad forestal (Tabla 5). El término cobertura se refiere al área del suelo, dentro del cuadro de muestreo, que es ocupada por las partes de cada atributo estudiado (Kent y Coker, 1992), y ésta fue estimada como un porcentaje dentro de las parcelas. Además, se tomaron datos ambientales de localización (coordenadas UTM, con GPS), altitud (en m con uso de GPS y altímetro), pendiente (inclinación en porcentaje, con clinómetro) y orientación (en grados, estandarizado para S-N con coseno y E-O con seno, para no confundir orientaciones 0 y 360°).

Tabla 5. Verificadores de la autenticidad forestal evaluados en campo.

Criterio	Verificador o variable
Composición	Riqueza, índice de diversidad de Simpson y de Shannon, proporción de especies nativas vs. indicadoras de perturbación
Procesos	Madera muerta, individuos arbóreos muertos en pie, regeneración
Patrones	Distribución de DAPs y alturas arbóreas, densidad de árboles, cobertura de copa
Función	pH, materia orgánica y profundidad del suelo
Salud arbórea	Presencia de epífitas parásitas, estado de corteza en troncos, coloración del follaje
Área y fragmentación	Área del tipo de bosque, distancia a caminos, número de fragmentos por tipo de bosque
Manejo	Especies utilizadas en reforestación, presencia y cobertura de tinajas ciegas, cobertura de basura, presencia de indicadores de pastoreo, afluencia humana

Se resumió la información de todos los verificadores de la autenticidad forestal evaluados en campo. Estos datos fueron estandarizados para facilitar su análisis. La estandarización se realizó calculando la media y la desviación estándar de cada grupo de datos y variable (e.g. riqueza). A cada valor por parcela de muestreo se le restó la media y se dividió por la desviación estándar, con lo que se obtuvo el 95% de los datos con valores entre 2 y -2.

Clasificación y mapeo de grupos de autenticidad forestal

Con los datos estandarizados, se multiplicó cada variable por los pesos obtenidos con las encuestas multicriterio y, posteriormente, se hizo una clasificación por grupos de los datos por parcela utilizando el programa PcOrd 4.0 (McCune y Mefford, 1999). El multiplicar cada variable por los valores de ponderación obtenidos a partir de la opinión de los expertos modificó los datos por variable, generando mayor varianza en las variables con mayor peso. Para la clasificación por grupos de autenticidad, se utilizó como medida de distanciamiento la relativa de Sørensen y el método de agrupamiento de Ward, el cual se basa en un análisis de varianza para evaluar la distancia entre los grupos, lo que permitió tomar en cuenta la ponderación de las variables a partir de la opinión de los especialistas.

Con los resultados obtenidos en la clasificación por grupos, que indican diferentes niveles de autenticidad forestal en el área de estudio, a cada sitio de muestreo se le asignó un valor de autenticidad en una escala de 5 a 10, siendo 5 lo menos auténtico y 10 lo más. Una vez asignado el valor de autenticidad para cada sitio de muestreo, se generó una interpolación de puntos para crear el mapa de autenticidad forestal. Este mapa refleja la composición, los procesos, los patrones, la función, la fragmentación y el manejo actuales de los bosques en esta zona de la ciudad de México.

Resultados

Se aplicaron un total de 23 encuestas a diferentes expertos dentro de las áreas cubiertas por los indicadores de la autenticidad forestal. Éstos incluyeron especialistas dentro de las áreas: ecología, manejo de recursos naturales,

edafología, ingeniería agrónoma, ingeniería forestal, restauración ecológica. No se encontraron inconsistencias en las encuestas realizadas.

En nivel de indicadores de autenticidad forestal, los expertos dieron mayor importancia a los indicadores de composición (20%) y procesos (19%). El de menor importancia de acuerdo con los especialistas entrevistados fue manejo (10%, Tabla 6).

Tabla 6. Ponderación por especialistas de los indicadores y verificadores de la autenticidad forestal.

Indicador	Verificador	Peso
Composición florística (0.20)	Riqueza	0.28
	Índice de diversidad de Simpson	0.15
	Índice de diversidad de Shannon	0.26
	Proporción de especies nativas vs. indicadoras de perturbación	0.31
Procesos (0.19)	Madera muerta	0.26
	Individuos arbóreos muertos en pie	0.29
	Regeneración	0.45
Patrones (0.16)	Distribución de DAPs arbóreos	0.32
	Distribución de alturas arbóreas	0.18
	Densidad de árboles	0.16
	Cobertura del dosel	0.15
	Área basal	0.19
Función (0.11)	pH del suelo	0.24
	Contenido de materia orgánica en el suelo	0.42
	Profundidad del suelo	0.34
Salud arbórea (0.11)	Presencia de epífitas parásitas	0.42
	Estado de corteza en troncos	0.26
	Coloración del follaje	0.32
Área y fragmentación (0.13)	Área del tipo de bosque	0.53
	Número de fragmentos por tipo de bosque	0.27
	Distancia a caminos	0.20
Manejo (0.10)	Especies utilizadas en reforestación	0.32
	Presencia y cobertura de tinas ciegas	0.15
	Cobertura de basura	0.16
	Presencia de indicadores de pastoreo	0.22
	Afluencia humana	0.15

Dentro del indicador de composición, en la evaluación multicriterio se obtuvo que el verificador proporción de especies nativas vs. introducidas (N/I) es el que se considera más importante para la evaluación de la autenticidad forestal de un sitio. El verificador considerado como menos importante dentro del indicador de composición fue el índice de diversidad de Simpson.

Para el indicador de procesos, los especialistas consideraron la regeneración como el verificador más importante para la evaluación de la autenticidad forestal. Los verificadores de madera muerta e individuos arbóreos muertos en pie fueron ponderados en segundo término.

En el indicador de patrones, se encontró una ponderación significativa para el verificador de proporción de diámetros arbóreos (DAP). En segundo lugar de importancia, se encontraron los verificadores área basal y densidad de árboles por cuadro de muestreo. De menor importancia relativa fueron los verificadores de área basal (19%), proporción de alturas arbóreas (18%) y cobertura del dosel (15%). Notablemente, se consideró más importante al verificador de área (53%), siguiéndole el número de fragmentos (27%) y la distancia a caminos (20%) en el indicador de área y fragmentación. La variable con mayor peso en el indicador de función fue el contenido de materia orgánica en el suelo (42%), seguida de la profundidad (34%) y el pH (24%). Para evaluar la salud arbórea, los especialistas consideraron como verificador más importante la evaluación de la presencia de epífitas parásitas (42%). En segundo término, se encuentran las variables de coloración del follaje arbóreo (32%) y el estado de los troncos (26%). En el indicador de menor importancia relativa en la opinión de los especialistas, el manejo, el verificador de las especies utilizadas en la reforestación fue el de mayor ponderación (32%). El verificador en segundo lugar de importancia fue el de pastoreo (22%), seguido por los verificadores de cobertura de basura (16%), afluencia humana (15%) y cobertura de tinajas ciegas (15%).

Grupos de autenticidad forestal

El análisis de clasificación en grupos de autenticidad (Figura 2) formó grupos que reflejan las similitudes en los valores de los verificadores recabados en campo por parcela de muestreo. Estos grupos representan niveles de autenticidad y muestran las semejanzas entre las parcelas dentro de las mismas

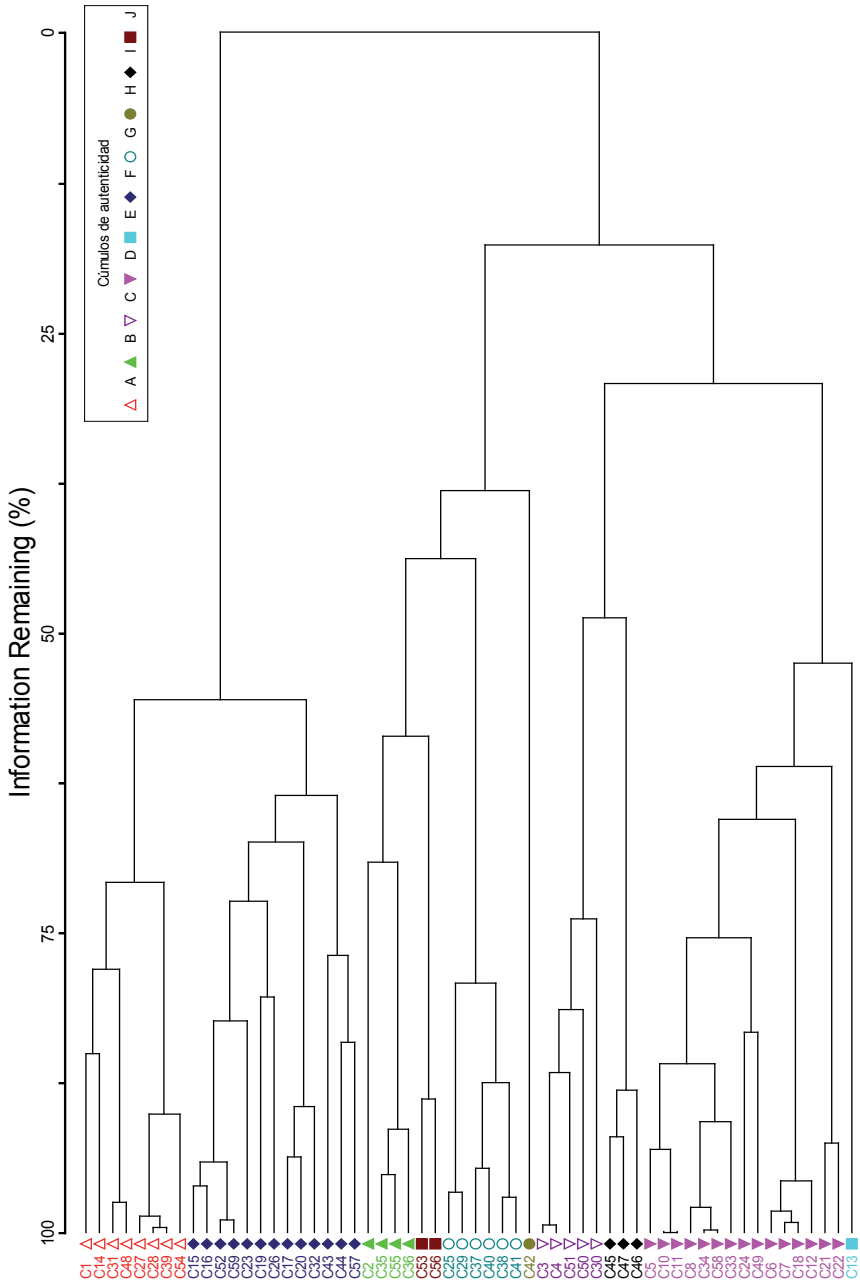


Figura 2. Dendrograma de la clasificación de las parcelas de muestreo en grupos de autenticidad forestal.

unidades de vegetación. Al 35% de similitud se agruparon cuatro grandes grupos. Estos cuatro grandes grupos contienen: 1) parcelas de *Abies religiosa*; 2) parcelas de bosque mixto, bosque de *Quercus*, plantación forestal y bosque de *Abies* perturbado; 3) parcelas de bosque de *Pinus hartwegii*, *P. hartwegii-Calamagrostis toluencensis* y bosque de *Pinus-Quercus*; 4) parcelas de las tres categorías de *Pinus hartwegii* y una de *Abies* perturbado. A mayor similitud (62%) se forman los 10 grupos que contiene la leyenda del dendrograma en la Figura 2. A estos grupos se les otorgó una calificación de autenticidad en tres niveles: alta, media y baja, con base en la experiencia y a lo observado en campo.

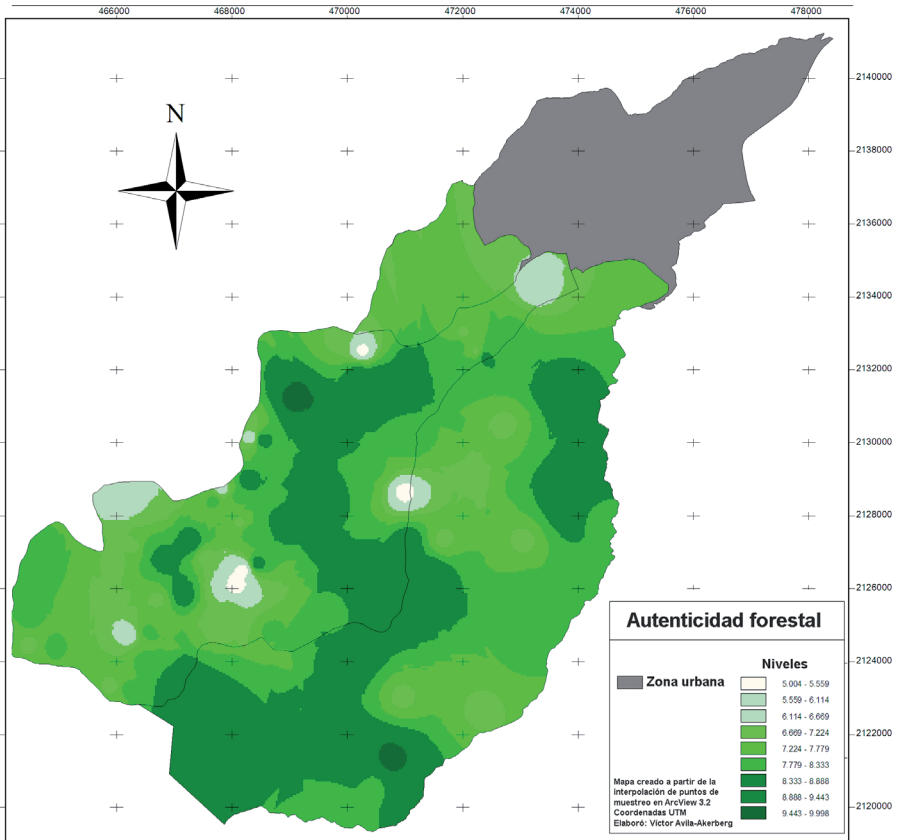


Figura 3. Mapa de autenticidad forestal en el suroeste de la Ciudad de México. Los colores más claros representan una menor autenticidad (eg. mayor deterioro). Coordenadas UTM cada 2,000 m.

Espacialmente, los grupos de autenticidad forestal no reflejan patrón alguno. Los diferentes niveles de autenticidad se encuentran en las partes altas, medias y bajas de la zona de estudio. El mapa de la Figura 3 muestra los niveles de autenticidad de los bosques en cuanto a los verificadores utilizados en esta investigación.

Discusión y conclusiones

Encuesta multicriterio

Muchas de las preguntas que los ecólogos buscan responder tienen que ver con la conservación de la naturaleza. Las evaluaciones para la toma de decisiones sobre la conservación de la naturaleza siguen tres pasos (Usher, 1986). Primero, se identifican los atributos que puedan reflejar el interés de conservación de un sitio. Después, se desarrollan criterios para expresar los atributos de una manera que permita evaluarlos; por ejemplo, una lista de especies (el criterio) se puede utilizar para evaluar la riqueza de las especies (el verificador). Finalmente, se dan valores a los niveles y estados particulares de los criterios. Este último paso no es científico y como Usher (1986) sugiere, el valor dado a cualquier criterio debe reflejar los valores de la sociedad que posee el sitio. En este caso, se siguieron los tres pasos y el valor de cada criterio fue asignado por especialistas, pero también es conveniente la participación de la gente que tiene influencia directa en la zona, como lo son los propietarios de las tierras y los visitantes. El agrupamiento de las parcelas con la información de los verificadores de autenticidad se hizo con elementos estadísticos que dan objetividad al análisis. Sin embargo, la categorización en niveles de autenticidad fue subjetiva, partiendo del conocimiento adquirido y las observaciones realizadas en esta investigación. La información está disponible y permite ser recategorizada de otra manera de acuerdo con objetivos específicos.

El análisis multicriterio es una herramienta que no ha sido muy utilizada en México y la encuesta generó confusión entre los especialistas debido a la novedad en su utilización. Esta herramienta permitió ponderar las variables evaluadas e integrar la información de los verificadores de la autenticidad

forestal, dando además argumentos que permiten priorizar diferentes objetivos de manejo. Usher (1986) hizo una revisión de artículos científicos en los que se trataba de evaluar la calidad o grado de perturbación en diferentes ecosistemas y encontró una mayor utilización de los verificadores de composición biológica. Hay una tendencia a utilizar la composición como elemento fundamental para conocer el estado de algún sitio y la encuesta multicriterio lo reafirmó. Sin embargo, creo que es necesario empezar a evaluar otros elementos igual de importantes como los contenidos en los indicadores de función, procesos y patrones.

Grupos de autenticidad forestal

La clasificación por grupos de autenticidad forestal permitió conjuntar las parcelas de muestreo con base en la similitud en los datos recabados en campo, lo que facilitó la categorización en los tres niveles de autenticidad. Los bosques en la zona de estudio presentan diferentes niveles de perturbación y ahora se cuenta con suficiente información que permite planear con mayor precisión las acciones de manejo.

En la práctica, los resultados muestran la complejidad del análisis de la información recabada en campo por las diferencias entre los tipos de variables evaluadas. También muestran la dificultad de poner en práctica la evaluación de todos los conceptos teóricos propuestos y la necesidad de estandarizar las mediciones a tomar dentro de cada indicador. Sin embargo, esta primera aproximación permitirá diseñar y aplicar mejor la metodología propuesta para la evaluación de los indicadores de la autenticidad forestal en otros sitios con características similares y hacer comparaciones posteriores. Se esperaría que hubiera variaciones en la metodología para evaluar la autenticidad de un sitio, pero lo importante es que la evaluación sea integral, considerando todos los indicadores.

Los indicadores de la autenticidad funcionan como una guía que permite contemplar múltiples elementos que son fundamentales en la generación de un diagnóstico biológico-ambiental en escalas de paisaje. El concepto de autenticidad forestal es relativamente nuevo y no había sido utilizado antes en México, por lo que es necesario que se siga probando aquí y en otros lugares del mundo.

Hacia la restauración ecológica...

Es indispensable que los resultados obtenidos lleguen a las personas que tienen influencia directa e indirecta con la zona de estudio: comuneros, ejidatarios, autoridades, visitantes, comerciantes y vecinos. Para esto, se pretende hacer accesible la información, proporcionando ejemplares de la investigación a las autoridades y núcleos agrarios, y generando conciencia en el resto de la gente mediante carteles, guías biológicas y una guía de los riesgos potenciales por vivir en zonas de cañadas.

Acciones de manejo en zonas con diferentes niveles de conservación

La prioridad de restauración debe ser sobre las zonas con niveles más bajos de autenticidad forestal. Estas zonas presentan diferentes niveles de perturbación, por lo que en ellas se debe actuar conforme a objetivos específicos, encaminados, ya sea a favorecer el mantenimiento de la diversidad biológica, la captación de agua, la fijación de CO₂ y generación de oxígeno, o las actividades recreativas.

Existen zonas con una diversidad biológica y ecológica que es necesario proteger. Estas zonas son las de mayor grado de conservación y deben decretarse como áreas núcleo para así restringir las actividades que puedan perturbarlas. Las actividades permitidas en las zonas más conservadas son la preservación, restauración y educación ambiental. Estas zonas sirven como referencia en la planeación de acciones de restauración de las zonas menos conservadas.

Se ha sugerido que la aplicación de técnicas de manejo, como el aclareo y las quemas controladas, lleva a alcanzar la máxima biodiversidad en los sistemas naturales y el uso sostenible de áreas públicas (Noss, 1990; Baker, 1992; Johnson, 1993). En los bosques de *Abies religiosa* existen, por lo general, coberturas altas del estrato arbustivo, limitando la regeneración y empobreciendo la diversidad biológica. Para promover la regeneración en estos bosques, se deben realizar aclareos de los arbustos con mayor cobertura, dejando las raíces en el suelo para evitar que se favorezca la erosión. Las quemas controladas pueden ser útiles en las partes altas, en las unidades de *Pinus hartwegii*. Esto también ayuda a promover la regeneración arbórea, el

control del exceso de combustibles y el crecimiento de pastos aptos para el ganado. Pero, como bien dice el término, estas quemas deben ser controladas, es decir, deben planearse considerando las pendientes, el flujo del aire, la cantidad de combustibles presentes y la capacidad de reacción en caso de un descontrol.

Redefinición de la zona como área natural protegida

Como primer punto, es necesaria la redefinición de la cuenca alta del río Magdalena como área natural protegida. Como se mencionó, existen diferentes acuerdos y decretos del tipo y extensión de la zona como área natural protegida. Sería benéfico que la redefinición del límite siguiera criterios hidrológicos, ya que es con base en este criterio que se rigen diversos procesos ecológicos y así las estrategias de manejo pueden plantearse y repercutir mejor.

La redefinición serviría como sustento legal en el que se podrán conocer con precisión las actividades permitidas y las zonas para esto, y se sabría claramente a quién compete la administración y las tareas compartidas con las instituciones que tienen ingerencia en el área. El nuevo decreto del área como ANP obligaría a generar un plan de manejo que contemple la información generada en éste y otros trabajos (eg. Álvarez-Román, 2000; Bojorge-García, 2002; Ávila-Akerberg, 2004; Espinosa-Pérez, 2005; Almeida-Leñero *et al.*, 2007; Cantoral-Uriza *et al.*, 2009). Serviría también como instrumento legal para frenar el crecimiento de los asentamientos irregulares y regular los existentes, poniendo especial atención en los cambios de administración delegacional, ya que han coincidido con el aumento de los asentamientos (Fernández *et al.*, 2002). Es muy difícil reubicar a las familias establecidas desde años en la zona, pero lo importante es que se dote de los servicios básicos necesarios de vivienda y que éstos no sigan afectando directa o indirectamente a las zonas de bosque sin asentamientos humanos.

Educación ambiental

Uno de los elementos más importantes en la conservación y la restauración es la difusión de los resultados. Esto permite generar conciencia y debería ser considerado en las prácticas de manejo de la zona. El proceso de educación

ambiental busca reconocer valores y aclarar conceptos, con objeto de fomentar las aptitudes y actitudes de participación necesarias para comprender y apreciar las interrelaciones entre el hombre, su cultura y el medio biofísico. Implica la participación, con conocimiento de causa, en la toma de decisiones y en la conformación de un código de comportamiento, que se refleje en actitudes y acciones concretas relacionadas con el mejoramiento en la calidad de vida de la población y la protección del medio ambiente. Este proceso implica lograr la participación voluntaria de los pobladores locales en la conservación y protección de los recursos naturales del área, a través de la apropiación del conocimiento acerca de la zona y los procesos biológicos que en ella se llevan a cabo.

Esto podría complementarse imprimiendo algunos mapas sobre carteles ubicados en las zonas de mayor afluencia humana. Estos mapas mostrarán la vista aérea de la zona y sus bosques (mosaico con ortofotos), las unidades de vegetación, los senderos, la carretera y las terracerías, los diferentes parajes y actividades sugeridas. Los mapas deben contener una leyenda sencilla, en la que se destaquen los nombres comunes, pero sin olvidar los científicos.

Referencias bibliográficas

- Almeida-Leñero, L., Nava-López, M., Ramos, A., Espinosa, M., Ordóñez, M. D. J. y Jujnovsky-Orlandini, J. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica del Instituto Nacional de Ecología*, Número especial 84-85: 53-64.
- Álvarez-Román, K. E. 2000. Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el Bosque de los Dinamos, área de conservación ecológica de la Delegación Magdalena Contreras. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Geografía, UNAM, México, D.F., pp. 127.
- Ávila-Akerberg, V. 2002. La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F., pp. 90.
- Ávila-Akerberg, V. 2004. Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena. Diagnóstico hacia la restauración ecológica. Tesis de Maestría en Restauración Ecológica, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F., pp. 110.

- Ávila-Akerberg, V., González-Hidalgo, b., Nava-López, M. y Almeida-Leñero, L. 2008. Refugio de fitodiversidad en la Ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 2(1): 605-619.
- Baker, W. L. 1992. The landscape ecology of large disturbances in the design and management of nature reserves. *Landscape Ecology* 7:181-194.
- Bojorge-García, M. G. 2002. Ecología de comunidades algales en una localidad del río la Magdalena, D.F. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F., pp. 86.
- Cantoral-Uriza, E.A., *et al.* Almeida-Leñero, L., Cifuentes-Blanco, J., Paniagua-León, L., Luis-Martínez, M.A., Nieto-Montes De Oca, A., Mendoza-Hernández, P.E., Villarruel-Ordaz, J.L., Aguilar, V., Ávila-Akerberg, V., Olguín, H. y Puebla, F. 2009. La diversidad de una cuenca en la Ciudad de México. *Ciencias* 94:28-33.
- Ceballos-Silva, A. y López-Blanco, J. 2003. Delineation of suitable areas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems* 77(2): 117-136.
- Cervantes, J.F. 1989. Modelo geoeosistémico para la prospección, uso y manejo del medio y los recursos naturales. *Boletín del Instituto de Geografía*, 19: 27-38.
- Corenader 2003. El Suelo de Conservación del Distrito Federal. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. In: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/corenader>.
- Espinosa-Pérez, M. I. 2005. Estimación del potencial de captura de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena, D.F. Tesis de licenciatura en biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F., pp. 65.
- Fernández, E.A., Uribe, C.F., Ramírez, R.I., Jesús, A.B. y Vázquez, M.A. 2002. Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la Cañada de los Dinamos. *Gaceta Ecológica del Instituto Nacional de Ecología* 62.
- Forman, R. T. T. y Godron, M. 1986. *Landscape ecology*. John Wiley and Sons, New York.
- Johnson, P. S. 1993. Perspectives on the ecology and silviculture of oak-dominated forests in the central and eastern states. In. *USDA Forest Service General Technical Report* NC-153
- Kent, M. y Coker, P. 1992. *Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach*. Belhaven Press, London.
- Malczewski, J. 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons, Inc., New York.

- Mazari-Hiriart, M. 2000. *Dualidad Población-Agua: Inicio del Tercer Milenio*. El Colegio Nacional, México, D.F.
- Mccune, B. y Mefford, M. J. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. In. *MjM Software Design*, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4: 355-364.
- Rzedowski, J. 1970. Notas sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México* 18: 91-106.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México D.F.
- The-Montréal-Process. 2008. Working Group on Criteria and Indicators for the Conservation and Sustainable Management of Temperate and Boreal Forests. In: http://www.rinya.maff.go.jp/mpci/home_e.html.
- Usher, M. B. 1986. *Wildlife conservation evaluation*. Chapman and Hall Ltd., London.
- WWF y IUCN. 1999. Evaluation of Forest Quality: Towards a Landscape Scale Assessment. In. *Forest Innovations: a joint project between the International Union for the Conservation of Nature and the World Wide Fund for Nature*, p. 134.