

# PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO PARA SELECCIONAR MÉTODOS DE MANEJO FORESTAL EN DURANGO

## ANALYTIC HIERARCHY PROCESS TO SELECT FOREST MANAGEMENT METHODS IN DURANGO

Fernando Pérez-Rodríguez<sup>1</sup>, Benedicto Vargas-Larreta<sup>2</sup>, Oscar Alberto Aguirre-Calderón<sup>3</sup>,  
José Javier Corral-Rivas<sup>4</sup> y Alberto Rojo-Alboreca<sup>1</sup>

### RESUMEN

Los bosques del estado de Durango han sido manejados en algunas regiones desde hace más de 100 años. Actualmente en la entidad, la preferencia hacia uno u otro método es a nivel de subpredio dentro de cada predio, a partir de un árbol de decisiones que incorpora preguntas en función del valor de diferentes parámetros. Sin embargo, este sistema no permite tomar en cuenta otros criterios que podrían estar implicados en cada caso particular. Así, se presenta el programa MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> que emplea la metodología de toma de decisiones multicriterio de comparación por pares AHP o Proceso Analítico Jerárquico, que facilita al gestor forestal la selección del método de manejo en bosques. Toma en cuenta un conjunto de criterios de sostenibilidad del orden ambiental, social, económico y técnico, además de cuatro alternativas de manejo: Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), Método de Desarrollo Silvícola (MDS), Corta a Matarrasa y No Cortar. Su aplicación se analizó en un predio del estado de Durango y los resultados indican que la pendiente, así como el incremento corriente anual y los costos de establecimiento o manejo de la regeneración fueron muy importantes al elegir el método de manejo. El MMOBI y el MDS destacaron para gran parte de los criterios, mientras que Corta a Matarrasa obtuvo la máxima puntuación cuando se consideraron los ingresos estimados de madera, y la alternativa no cortar fue la más valorada bajo el criterio de costos de establecimiento o manejo de la regeneración.

**Palabras clave:** AHP, Análisis multicriterio, manejo irregular, manejo regular, Método de Desarrollo Silvícola, Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares.

### ABSTRACT

The forests of the state of Durango have been managed for more than 100 years in some regions. At present, the preference towards any method is at the substand level within each land, from a decision tree that includes questions in terms of the value of different parameters. However, this system does not allow to take into account other criteria that could be involved in each particular case. The MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> program facilitates the selection of a forest management method by the forest manager, developing the multicriteria decisions making methodology of comparison by pairs (Analytic Hierarchy Process or AHP). The program considers a group of environmental, social, economic, and technical sustainability criteria in the decision type, and includes four alternatives of management: MMOBI (Mexican Method of Irregular Forests Regulation), MDS (Method for Forestry Development), Clear Cutting and Not to cut. Its application was analyzed in a land of Durango state, Mexico. Results indicate that slope is one of the most appreciated criteria at the moment of the management election, as well as the annual current increment and the establishment costs or regeneration management. The MMOBI and the MDS emphasized under great part of the criteria, while the application of Clear Cutting obtained the maximum score under the wood estimated incomes criterion; the Not to cut alternative was the most valued one under the criterion of costs establishment or regeneration management.

**Key words:** AHP, Multicriteria analysis, Mexican Method of Forest Regulation, Method for Silvicultural Development, continuous cover forestry, rotation forestry.

Fecha de recepción: 1 de noviembre de 2011

Fecha de aceptación: 15 de octubre de 2012

<sup>1</sup> Unidad de Gestión Forestal Sostenible. Departamento de Enseñanza Agroforestal. Escola Politécnica Superior. Universidade de Santiago de Compostela. Lugo, España.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de El Salto.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango.

## INTRODUCCIÓN

El propósito del análisis de decisiones es proveer elementos para obtener alternativas a problemas cuya solución no depende del simple uso de la intuición o el sentido común. El manejo estratégico de recursos forestales es un ejemplo típico de tales inconvenientes, en los que la toma de decisiones comprende una selección preferencial entre cursos de acción alternativos. El proceso analítico jerárquico (AHP por sus siglas en inglés: *Analytic Hierarchy Process*) fue desarrollado por Saaty (1980) y ha sido estudiado por numerosos autores como Schoner y Wedley (2007), Carmone *et al.* (1997) y Zanazzi (2003), entre otros. El AHP está diseñado con la finalidad de apoyar la toma de decisiones y proporcionar un marco de trabajo comprensible y racional para la estructuración de un problema; así como, para la representación y cuantificación de sus elementos, con la intención de relacionarlos con los objetivos y evaluar las alternativas de solución. Es una técnica de análisis muy empleada a nivel mundial en ámbitos como el gobierno, la industria, la salud, la educación, los negocios y el medio ambiente.

En este último contexto se han realizado una gran cantidad de investigaciones forestales entre las cuales destacan las efectuadas en las siguientes áreas: manejo forestal (Mendoza y Sprouse, 1989; Gadow y Bredenkaup, 1992; Kangas y Kangas, 2005); planeación forestal y toma de decisiones (Pukkala y Kangas, 1993; Kangas *et al.*, 1996; Leskinen y Kangas, 1998; Schmoltd *et al.*, 2001; Kangas *et al.*, 2008); evaluación de riesgo en la valoración de alternativas de reforestación (Kangas, 1993); análisis de riesgo en la planeación forestal (Pukkala y Kangas, 1996); certificación de productos forestales (Kurtilla *et al.*, 2000); protección forestal mediante la elección de factores de riesgo (Reynolds y Holsten, 1994); establecimiento de prioridades para proyectos de restauración (Reynolds, 1997); identificación y priorización de necesidades de investigación en incendios forestales (Schmoltd y Petterson, 2000); y evaluación de criterios e indicadores para la calificación de la sustentabilidad forestal (Mendoza y Prabhu, 2000). Una compilación de trabajos sobre el uso del proceso analítico jerárquico en el manejo de recursos naturales y la toma de decisiones ambientales es presentada por Schmoltd *et al.* (2001), quienes incluyen contribuciones sobre la aplicación de métodos multicriterio para la optimización de soluciones a diversos problemas de la gestión de recursos forestales.

Los bosques del estado de Durango, México se han manejado, en algunas regiones, desde hace más de 100 años (Vargas-Larreta, 2006). A partir de entonces, diversos métodos de manejo forestal se han aplicado, de ellos destacan, por ser los más utilizados, en el presente el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) y el Método de Desarrollo Silvícola (MDS). El MMOBI, de mayor uso, es un sistema de corta selectiva controlada por un diámetro mínimo de corta, una intensidad y un ciclo de corta, que está sujeto a restricciones de recuperación del volumen extraído. Por su parte, el MDS tiene como objetivo captar el máximo

## INTRODUCTION

The aim of decision analysis is to provide elements to find options to problems whose solution is not feasible by the simple use of intuition or commonsense. The strategic management of forest resources is a typical example of such inconveniences, in which decision taking includes a preferential selection among alternative action courses. The Analytic Hierarchy Process was developed by Saaty (1980) and has been studied by several researchers such as Schoner and Wedley (2007), Carmone *et al.* (1997) and Zanazzi (2003). AHP was designed with the purpose of supporting decision making and to provide an understanding and rational work framework for structuring a problem, as well as to represent and quantify its elements, with the purpose of relating them with its objectives and assess the alternatives for its solution. It is an analysis technique widely used in the world in fields such as government, industry, health, education, business and environment.

In this last context a great number of forest studies have been accomplished among which the following are worth noticing: forest management (Mendoza and Sprouse, 1989; Gadow and Bredenkaup, 1992; Kangas and Kangas, 2005), forest planning and decision making (Pukkala and Kangas, 1993; Kangas *et al.*, 1996; Leskinen and Kangas, 1998; Schmoltd *et al.*, 2001; Kangas *et al.*, 2008), risk evaluation in the assessment of reforestation alternatives (Kangas, 1993), risk analysis in forest planning (Pukkala and Kangas, 1996), forest products certification (Kurtilla *et al.*, 2000), forest protection by the election of risk factors (Reynolds and Holsten, 1994), establishment of priorities for restoration projects (Reynolds, 1997), identification and prioritization of research needs on forest fires (Schmoltd and Petterson, 2000) and assessment of criteria and indicators for the grading of forest sustainability (Mendoza and Prabhu, 2000). A compilation of works about the use of the Analytic Hierarchy Process in natural resources management is shown by Schmoltd *et al.* (2001), who included contributions about the application of multicriteria methods to optimize solutions to several problems of forest resources management.

The forests of Durango state, Mexico, have been managed in some regions for more than 100 years (Vargas-Larreta, 2006). Ever since, several methods of forest management have been used, the mostly used at present are MMOBI (Mexican Method of Irregular Forests Regulation) and MDS (Method for Forestry Development). MMOBI, which has the greatest use, is a selective cutting system, controlled by a minimal cutting diameter, an intensity and cutting cycle, which is subjected to restrictions of recovery of the extracted volume. On the other hand, MDS is oriented to catch the greatest productive potential of the site and to accomplish a sustained volume yield to reach the concept of normal and regular forest. This method is a scheme of planning that consists in a production cycle, rotation, whose forestry system, which is of its own, is divided into a growth period (in-between cuttings) and one of regeneration,

potencial productivo del sitio y lograr un rendimiento sostenido en volumen para alcanzar el concepto de bosque regular normal. Este método es un esquema de planeación que consiste en un ciclo de producción, turno o rotación, cuyo sistema silvícola, que es propio, está dividido en un período de crecimiento (cortas intermedias) y uno de regeneración, el cual puede ser por árboles Padre o por otros métodos de regeneración (Musálem, 1979). Actualmente en la entidad duranguense, la preferencia de uno u otro se efectúa a nivel de subrodal, dentro de cada predio, a partir de un árbol de decisiones que incorpora preguntas en función del valor de diferentes parámetros (pendiente, distribución diamétrica actual, volumen, incrementos, etcétera). Sin embargo, ese sistema no permite tomar en cuenta otros criterios de tipo económico, ambiental, social o técnico, que podrían estar implicados en cada caso particular.

El objetivo del presente trabajo es aplicar la metodología AHP y proporcionar al prestador de servicios técnicos forestales una alternativa para la selección del método de manejo a nivel de subrodal en predios del estado de Durango, que considera criterios de sostenibilidad a través del desarrollo de una herramienta de fácil manejo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Esquema general de la metodología AHP

El método AHP estriba en los siguientes pasos (Saaty, 1980): i) definir una jerarquía de decisión con niveles: se incluye al objetivo en el nivel 1, los criterios implicados en la toma de decisiones en el nivel 2, que pueden ser cualitativos o cuantitativos, lo que representa una de las virtudes del método, y las alternativas posibles en el nivel 3; ii) estimar las preferencias de los criterios (nivel 2) al compararlos por pares mediante una cierta escala, para así obtener el peso o importancia de cada criterio en la decisión; iii) contrastar las alternativas (nivel 3) por pareja a partir del empleo de cada criterio (nivel 2) por separado y con el uso de una escala de comparación; y iv) seleccionar la mejor alternativa, es decir, la que posea el mayor peso.

Para la aplicación del método AHP al caso estudiado, se establecieron los distintos niveles indicados e intrínsecos a la metodología. En el 1 se ubicó el objetivo o meta de la decisión: la elección del método de manejo más conveniente para un subrodal determinado, el cual se designó como unidad de análisis, ya que constituye la unidad mínima de manejo especificada en los programas correspondientes en el estado. En el 2 se fijaron los criterios que se tendrían en cuenta para escoger uno u otro método, y en el nivel 3 aquellas posibles alternativas propias de cada caso. La comparación por pares de los criterios y de sus alternativas, así como los cálculos posteriores y la visualización de los resultados se llevó a cabo con el software MPC 201 MEX®.

which might be of parental trees or other regeneration methods (Musálem, 1979). At present, the preference for any method in the state is made at the substand level within each land, from a decision tree that involves questions in terms of the value of different parameters (slope, current diametric distribution, volume, increments, etc.). However, this system does not allow to consider other sorts of criteria such as economic, environmental, social or technical that could be implied in each particular case.

The aim of this work was to apply the AHP methodology and to show to the decision maker an option to choose the management method at a substand level in lands of Durango state, which considers sustainability criteria through the development of a tool easy to handle.

## MATERIALS AND METHODS

### General Scheme of the AHP Methodology

The AHP method follows these steps (Saaty, 1980): i) to define a decision hierarchy with levels: the objective is included in level 1, the criteria implied in decision making in level 2 that can be qualitative or quantitative, which means one of the virtues of the method, and the possible alternatives in level 3; ii) to estimate the preferences of the criteria (level 2) when compared by pairs by some scale, in order to get the weight or importance of each criterion in the decision; iii) to contrast the alternatives (level 3) by pair from the use of each criteria (level 2) by itself and with the use of a comparison scale and iv) choose the best alternative, that is, that which has the greatest weight.

In order to apply the AHP method to the present case, the different intrinsic levels previously indicated in the methodology were established. In level 1 was included the objective or goal of the decision: the selection of the most convenient management for a specific substand, which is named as an analysis unit, as it is the specific minimal management unit in the corresponding programs in the state. In level 2 were fixed the criteria that would be taken into account to choose one and other method, and in level 3, those possible proper alternatives for each case. The comparison by pairs of criteria, followed by the alternatives for each one of the, as well as the later calculi and visualization of results, was carried out with the MPC 201 MEX software®.

### Establishment and selection of criteria to assess alternatives

A final list of criteria for the objective was created in MPC 201 MEX® out of which can be chosen, freely, those that are interesting in terms of the substand that is managed. Root criteria were carried out by following sustainability principles; therefore, it was attempted to establish known elements by the forest technician in order to determine an accurate decision. Thus, the elements that

## Establecimiento y selección de criterios para la valoración de alternativas

En MPC 201 MEX<sup>®</sup> se creó una lista fija de criterios para el objetivo, de los cuales se pueden escoger, de manera libre, los que resulten de interés en función del subrodal que se maneje. Los criterios raíz fueron efectuados con base en principios de sostenibilidad; para ello, se procuró instituir elementos conocidos por el técnico forestal a fin de determinar un juicio certero. Así, los componentes sujetos a valoración fueron 1) económicos (ingresos), 2) provisión de servicios ambientales, 3) beneficios sociales, y 4) técnicos. Estos constituyen el primer nivel jerárquico en la formulación del modelo y permiten precisar si un subrodal puede ser aprovechado o no, la intensidad de corta, el tipo de tratamiento, etcétera.

Adicionalmente, se fijó un segundo nivel (subcriterios) dentro de una categoría secundaria que contribuye al logro de una evaluación más particularizada de las alternativas de manejo. En este nivel, a los ingresos les fueron asignados los subcriterios del valor de la cosecha forestal; es decir, los ingresos por la venta de madera, y otros ingresos obtenidos por actividades como el ecoturismo, el aprovechamiento de la fauna silvestre y la captura de carbono, por ejemplo; y se incluyeron los costos del abastecimiento forestal, así como los del establecimiento de una nueva masa forestal procedente de repoblación o de regeneración natural.

Al criterio de provisión de servicios ambientales se le agregaron, por un lado, los servicios hidrológicos y los relativos a la capacidad de captura de carbono y, por otro, la conservación de la biodiversidad y la disminución de los riesgos de erosión. Para el de beneficios sociales se definieron la aceptación social, los servicios de esparcimiento, la producción de forrajes, el aprovechamiento de ganadería y la proximidad a los poblados como subcriterios. Por último, los aspectos técnicos fueron valorados con la ayuda de los pronósticos de crecimiento para el siguiente ciclo de corta, esto es, el ICA o Incremento Corriente Anual ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ), las existencias volumétricas ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ), la densidad, a través del Índice de Densidad de Rodales de Reineke (IDRR) (Reineke, 1933) y del Porcentaje de Cobertura de Copa (FCC).

El esquema prefijado de criterios es sencillo; no obstante, es necesario destacar que el AHP es muy sensible al número que de ellos se usen y al de las alternativas, lo que aumenta el tiempo requerido por el técnico para tomar una decisión. En el presente trabajo prevaleció la cantidad de repeticiones que se pueden efectuar respecto a una decisión sobre el análisis de cada una, de manera independiente.

## Establecimiento de alternativas

Las alternativas contempladas por el programa MPC 201 MEX<sup>®</sup> corresponden a los siguientes métodos de manejo: MMOBI (Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares), MDS (Método de Desarrollo Silvícola), Corta a Matarrasa

were valued were: 1) economic (income), 2) provision of environmental services, 3) social benefits and 4) technical. These make up the first hierarchical level in the formulation of the model and allow to precise if a substand might be harvested or not, the cutting intensity, the kind of treatment, etc.

In addition, a second level (subcriteria) was fixed within a secondary category that helps in the achievement of a more particularized assessment of management alternatives. In this level, the sub-criteria of the value of forest harvest was added to income, that is, income from selling wood, as well as that coming from activities such as ecotourism, wildlife hunting and carbon sequestration, for example; and the costs from forest supply as well as from the establishment of a new forest mass proceeding from repopulation or natural regeneration.

To the criteria of environmental services supply were added, on the one hand, water services and those related to carbon sequestration ability; and on the other, biodiversity conservation and the reduction of erosion risks. For the criterion of social benefits were defined as subcriteria: social acceptance, recreational services, forage production, livestock production and neighborhood to towns. Finally, technical aspects were valued with the aid of growth predictions for the following cutting cycle, that is, the ICA (acronym in Spanish) or Current Annual Increment ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ ), volumetric existences ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ), density, determined by Reineke's Stand Density Index or IDRR (acronym in Spanish) and the Crown Cover Percentage (FCC, acronym in Spanish).

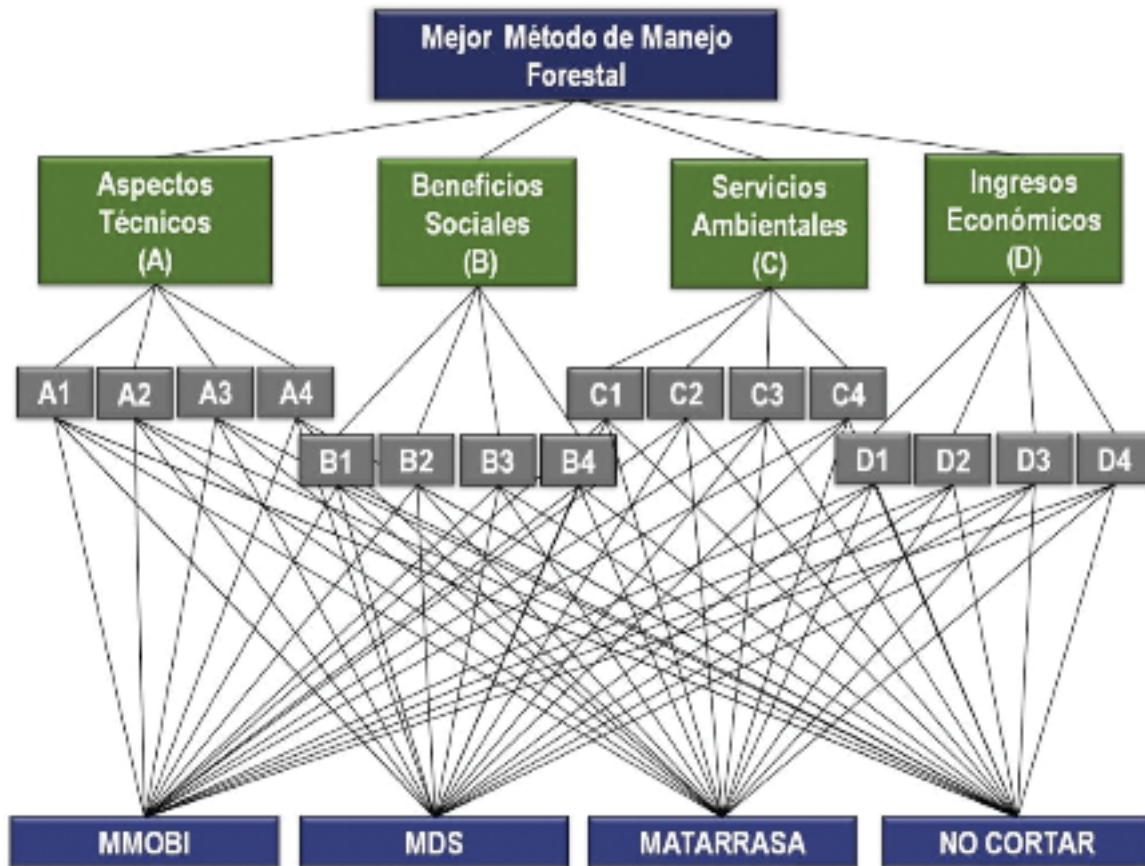
The scheme to pre-establish the criteria is simple; nevertheless, it is necessary to emphasize that the AHP is very sensitive to the number of used criteria and of alternatives, which increases the demanded time for the technician to take a decision. In this work prevailed the number of replications that it can make in regard to a decision about the analysis of each one, in an independent way.

## Establishment of alternatives

The alternatives considered by MPC 201 MEX<sup>®</sup> are the following management methods: MMOBI (Mexican Method of Irregular Forests Regulation), MDS (Method for Forestry Development), Clear Cutting and management not oriented to wood production, which will be referred to from now on as Not to cut. The hierarchic structure of the valuation criteria and of the alternatives for management is shown in Figure 1.

## Preselection options

From certain environmental and legislative limitations it cannot be considered in all cases the four previous alternatives; therefore, in the program a pre-selection mechanism of them was established. Thus, a decision tree system is employed which, in terms of the values of the different variables (Table 1), the offer of options is limited in each case. In practice, the decisions of the management methods are chained or not in time and space,



A1= Incremento Corriente Anual (ICA); A2= Volumen (Existencias volumétricas); A3= Densidad (Índice de Densidad de Rodales de Reineke); A4= Cobertura (Porcentaje de cobertura de copa); B1= Aceptación social; B2= Esparcimiento; B3= Proximidad a poblados; B4= Ganadería; C1= Servicios hidrológicos; C2= Captura de carbono; C3= Biodiversidad; C4= Reducción de la erosión; D1= Valor de venta de la madera; D2= Costos de abastecimiento; D3= Costos de establecimiento; D4= Otros (carbono, ecoturismo, etcétera).

A1= Current Annual Increment (ICA); A2= Volume (volumetric existences); A3= Density (Reineke's Stand Density Index); A4= Cover (Percentage of crown cover); B1= Social acceptance; B2= Recreation; B3= neighborhood to towns; B4= livestock; C1= water services; C2= carbon sequestration; C3= Biodiversity; C4= Reduction of erosion; D1= value of wood sale; D2= Supply costs; D3= Establishment costs; D4= Others (carbon, ecotourism, etc.).

Figura 1. Estructura jerárquica de los criterios de valoración y de las alternativas de manejo.

Figure 1. Hierarchic structure of the valuation criteria and of the alternatives for management.

y Manejo no orientado a la producción maderable, el cual, en adelante, se denomina No Cortar. La estructura jerárquica de los criterios de valoración y de las alternativas de manejo se muestra en la Figura 1.

### Preselección de alternativas

Debido a ciertas limitaciones ambientales y legislativas, no en todos los casos se pueden considerar las cuatro alternativas descritas, por tal motivo, en el programa se instituyó un mecanismo de preselección de las mismas. Para ello, se empleó un sistema de árbol de decisiones en el que, en función de los valores de distintas variables (Cuadro 1), se limitó la oferta de opciones en cada caso. En la práctica, las decisiones del método de manejo están o no encadenadas en tiempo y espacio, razón por la cual, tanto el efecto económico y técnico de las cortas subsecuentes, como los tiempos y tratamientos

a reason why, either the economic and technical effect of the following cutting, as well as the times and treatments of the rest of the substands, they can be assessed and, starting from this, some determinations can be taken. Consequently, there is the possibility to make an independent selection of one single substand and to think that the group of resolutions for the whole forest will be logical, economic or silvicultural and be considered, therefore, as an optimal solution for the analyzed cutting cycle. This is particularly useful in lands with small managed areas.



de los otros subrodiales pueden evaluarse, y a partir de esto, tomar algunas determinaciones. En consecuencia, se tiene la posibilidad de optar de forma independiente por un solo subrodal y pensar que el conjunto de resoluciones para todo el bosque tendrá sentido lógico, económico o silvícola y considerarse, por lo tanto, como una solución óptima para el ciclo de corta analizado. Lo anterior es especialmente útil en predios con poca superficie bajo manejo.

### Comparación por pares y pesos de los criterios

Saaty (1980) propuso un método de calificación por pares; es decir, enfrentar todos los criterios de dos en dos, de manera que se obtengan todos los valores de una matriz cuadrada de  $n \times n$ , en la cual  $n$  es el número de criterios.

### Comparison by pairs and weights of the criteria

Saaty (1980) proposed a method of grading by pairs; that is, to face all the criteria two by two, in such a way that all the values of a  $n \times n$  matrix, in which is the number of criteria, are obtained.

In the previous table "Nivel de deterioro" or deterioration level, grades the deterioration of each substand and stand, from the measurement and addition of eight variables (slope, laminar erosion, anthropic erosion, sedimentation, erodability, critical erosion, agriculture and livestock use and damages to infrastructure), valued in a scale from zero to five, during the forest inventory.

In order to make valid this grading by pairs, the homogeneity condition must be satisfied, which means that all the elements must have the same magnitude. For the emission of judgements that

Cuadro 1. Árbol de decisiones utilizado para la selección del método de manejo en bosques naturales del estado de Durango.  
Table 1. Decision tree used for the selection of the management method in natural forests of Durango state.

---

ER de Pino < 40 m<sup>3</sup>rta ha<sup>-1</sup> y ER encino >40 m<sup>3</sup>rta ha<sup>-1</sup>?

- Sí: Posibles métodos: MMOBI, No Cortar
- No: Siguiente

Pendiente > 50 %?

- Sí: Posibles métodos: MMOBI, No Cortar
- No: Siguiente

Nivel de deterioro > 15?

- Sí: Posibles métodos: MMOBI, No Cortar
- No: Siguiente

Índice de densidad (pino) < 315.9 o Índice de sitio < 10.5m?

- Sí: Posibles métodos: MMOBI, No Cortar, Corta a Matarrasa\*
- No: Siguiente

Composición de encino > 30 %?

- Sí: Posibles métodos: MMOBI, No Cortar, Corta a Matarrasa\*
- No: Siguiente

Edad media > 100 años?

- Sí: Posibles métodos: MMOBI, No Cortar, Corta a Matarrasa\*
- No: Siguiente

Candidato a prescripción por regulación a Corta de Regeneración (CR)?

- Sí: Árboles padres (CR); Posibles métodos: MMOBI, MDS, No Cortar
- No: Siguiente

Condición de liberación (CL):

- Sí: Árboles padre (CL); Posibles métodos: MDS, No cortar, Matarrasa
- No: Aclareos (ACL); Posibles métodos: MDS, No Cortar

---

\* Superficies no mayores de 10 ha y pendiente no mayor de 15% para Matarrasa

\* Areas under 10 ha and slope under 15% for clear-cutting

En el Cuadro 1, "Nivel de deterioro" califica la degradación en cada subrodal y rodal, a partir de la medición y suma, durante el inventario forestal, de ocho variables valoradas en una escala de cero a cinco: pendiente, erosión laminar, erosión antropogénica, sedimentación, erodabilidad, erosión crítica, uso agrícola y pecuario, y daños a la infraestructura.

Con la finalidad de que esta calificación por pares sea válida, debe cumplirse la condición de homogeneidad, por lo que todos los elementos han de tener el mismo orden de magnitud. Para la emisión de juicios que determinen el peso de preferencia del usuario en un par enfrentado, Saaty (1980) estableció la escala discreta (Cuadro 2). Los valores pares de la escala (2, 4, 6 y 8) suponen intermedios entre los valores impares. Esta escala ha sido analizada en muchos trabajos: Feinstein y Lumley (2001); Laininen (2001); Leskinen y Kangas (1998); Raharjo *et al.* (2001); Wedley y Choo (2001) y Choo y Wedley (2008).

Existen otros tipos como la binómica (sí o no) u otras con parámetros que facilitan más la preferencia en un par; sin embargo, limitan la información del grado de esa elección. Los parámetros de la escala están relacionados con la precisión que se le quiera otorgar al proceso, pero también con su complicación. En este caso, la propuesta por Saaty (1980) es la más empleada, pese a las críticas de algunos autores como Carmone *et al.* (1997). El resultado de todas las combinaciones posibles de comparación entre los criterios es la matriz de comparaciones A:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a & \dots & a \\ a & 1 & \dots & a \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a & a & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

A partir de la escala de Saaty (1980), un axioma de este método es el de "juicios recíprocos", definido como  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  en la matriz de comparaciones, donde  $a_{ij}$  es el valor de la comparación del criterio *i* respecto al *j*, y  $a_{ji}$  el correspondiente a la comparación del criterio *j* en relación al *i*.

Una vez completada la matriz de comparaciones, se normaliza por columnas y se promedia por filas para alcanzar *W*, también llamado autovector principal (Saaty, 2003), el cual supone el peso obtenido de cada criterio en tanto por 1. Esta normalización significa un problema en el momento de la reversibilidad, debido a que normalizar la matriz lo impide (Ying-Ming y Taha, 2006). No obstante, al utilizar un esquema sencillo de criterios en la decisión, la reversibilidad pierde peso, ya que el tiempo de repetición es mucho menor; en consecuencia, se dará más valor al número de repeticiones adquiridas de una misma decisión que el estudiar una de ellas, pues, de esta manera, se considera el factor de variabilidad temporal en la opinión del gestor.

A continuación se establecen grados de consistencia (CR o *Consistency Ratio*), esto es, valores que indican si la matriz de

determine the weight of preference of the user in a confronted pair, Saaty (1980) established the discrete scale (Table 2). The pair values of the scale (2, 4, 6 and 8) mean in-betweens among the impair values. This scale has been analyzed in many works such as those of Feinstein and Lumley (2001); Laininen (2001); Leskinen and Kangas (1998); Raharjo *et al.* (2001); Wedley and Choo (2001) and Choo and Wedley (2008).

Cuadro 2. Escala de comparación de pares propuesta por Saaty (1980).

Table 2. Scale of comparison by pairs proposed by Saaty (1980).

Valor	Importancia o preferencia
1	Igual
3	Moderada
5	Fuerte
7	Muy fuerte (importancia demostrada sobre el otro)
9	Extremadamente fuerte (absoluta importancia)

There are types of scales such as the binomial (yes or not) or others with parameters that favor the preference in a pair; however, they limit the information of the grade of that selection. Therefore, the number of parameters of the scale is related to the accuracy that is wanted in the process, but in its complication as well. In this case, the scale proposed by Saaty (1980) is mostly used, in spite of the criticism made by some authors such as Carmone *et al.* (1997). The result of all the possible combinations of comparison among the criteria is the comparison matrix A:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a & \dots & a \\ a & 1 & \dots & a \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a & a & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

From the Saaty (1980) scale, an axiom of this method is that of "reciprocal judgments", defined as  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  in the comparison matrix, where  $a_{ij}$  is the value of the comparison of the *i* criterion in regard to *j*, and  $a_{ji}$  the corresponding to the comparison of the *j* criterion in regard to *i*.

Once the comparison matrix is completed, it is normalized by columns and average is made by lines to reach *W*, also called principal eigenvector (Saaty, 2003), which is the obtained weight of each criterion per 1. This normalization is a problem at the time of reversibility, due to the fact that to normalize the matrix blocks it (Ying-Ming and Taha, 2006). Nevertheless, while using a simple scheme of criteria in the decision, reversibility loses weight, since the time of replication is much smaller; consequently, a great value will be given to the number of replications acquired from a same decision than to study one of them, since, in this way, it is considered the temporary variability factor in the opinion of the consultant.

comparaciones muestra calificaciones lógicas o no. Dicha consistencia se calcula al tomar en cuenta la valoración de la homogeneidad de las matrices normalizadas con las matrices de comparación, mediante el procedimiento (Saaty, 1990):

$$A \cdot W = n \cdot W$$

Donde:

$n$  = Número de elementos comparados

$A$  = Matriz de comparaciones

Por otra parte, se tiene que:

$$\sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot \bar{W}_j \right) = n_{max} \cdot \sum_{j=1}^n \bar{W}_j$$

Donde:

$a_{ij}$  = Cada uno de los valores de la matriz de comparación

$n_{max}$  = Se extrae de multiplicar matricialmente la matriz de comparaciones  $A$  con el autovector  $W$ , de lo que se obtiene una nueva matriz columna  $A \cdot W$ .

En tal caso,  $n_{max}$  es el resultado de promediar los elementos de la matriz  $A \cdot W$ , una vez que fueron divididos por su homónimo en la matriz  $W$ . Cuando se tienen  $n$  y  $n_{max}$  se calcula el índice de consistencia  $IC$  por medio de la ecuación:

$$IC = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

Por otra parte, se calcula el coeficiente  $IA$ , el cual es un índice de comparación que depende del número de elementos comparados  $n$ , de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IA = \frac{1.98 \cdot (n-2)}{n}$$

Una vez conocidos  $IC$  e  $IA$ , se obtiene  $CR$  o consistencia de la matriz, como a continuación se presenta:

$$CR = \frac{IC}{IA}$$

Si  $CR > 0,1$  entonces la matriz se califica como inconsistente, mientras que será consistente si  $CR < 0,1$  (Saaty, 1990; Zeshui y Cuiping, 1999; Raharjo *et al.*, 2001). Es conveniente señalar que esta inconsistencia es a nivel matricial y no al de par de comparación, de ahí que exponer este indicador durante el proceso de comparación puede sesgar al técnico a valorar un par, al buscar minimizar la inconsistencia.

### Comparación por pares y pesos de las alternativas

En esta fase se comparan por pares todas las alternativas bajo cada criterio y se generan tantas matrices de comparación de alternativas, como criterios hayan sido evaluados. De manera

Next are established the degrees of consistency ( $CR$  or Consistency Ratio), that is, values that indicate that the comparison matrix shows logical grades or not. Such consistency is calculated when the homogeneity valuation of the normalized matrixes with the comparison matrixes is taken into account, by the following procedure (Saaty, 1990):

$$A \cdot W = n \cdot W$$

Where:

$n$  = Number of compared elements and

$A$  = Comparison matrix

On the other hand, there is:

$$\sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot \bar{W}_j \right) = n_{max} \cdot \sum_{j=1}^n \bar{W}_j$$

Where:

$a_{ij}$  = Each one of the values of the comparison matrix

$n_{max}$  = It is extracted of the matricial multiplication of the  $A$  comparison matrix by the  $W$  eigenvector.

In such case,  $n_{max}$  is the result of averaging the elements of the  $A \cdot W$  matrix, once they were divided by its homonymous in the  $W$  matrix. When there are  $n$  and  $n_{max}$  the index of consistency  $IC$  is calculated by the following equation:

$$IC = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

On the other hand, the  $IA$  coefficient which is a comparison index that depends of the number of elements compared  $n$ , according to the following equation:

$$IA = \frac{1.98 \cdot (n-2)}{n}$$

Once  $IC$  and  $IA$  are known, the  $CR$  or matrix consistency is obtained as follows:

$$CR = \frac{IC}{IA}$$

If  $CR > 0.1$  then the matrix is graded as insistent, while if it is  $CR < 0,1$  it will be consistent (Saaty, 1990; Zeshui and Cuiping, 1999; Raharjo *et al.*, 2001). It is important to point out that such inconsistency is at a matricial level and not to the comparison par level, which explains why if this indicator is exposed during the comparison process, it might bias the technician to evaluate a pair when trying to minimize the inconsistency.

### Comparison by pairs and weight of the alternatives

In this phase, all the alternatives under each criterion are compared by pairs and there will be such number of matrixes of alternative comparison as the criteria that have been assessed. Consequently,



consecuente, se crea una matriz  $W_i$  que muestra el peso obtenido por cada una de las alternativas cuando son evaluadas bajo el criterio  $i$ .

### Jerarquía: Selección de la mejor alternativa

Para conocer la jerarquía de las alternativas se multiplica la matriz formada por los autovectores  $W_i$  de las alternativas bajo cada criterio, por la matriz de autovectores  $W$  obtenido para los criterios. El resultado de esta multiplicación es la matriz  $P$ , la cual expone los pesos finales para cada alternativa  $n$ :

$$\begin{bmatrix} W_{11} & W_{21} & \dots & W_{n1} \\ W_{12} & W_{22} & \dots & W_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{1n} & W_{2n} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}$$

Para un ensayo dado, la alternativa más adecuada al objetivo propuesto es aquella que haya alcanzado el peso más alto.

### Análisis de sensibilidad

Consistió en determinar los cambios producidos en los resultados, al variar de magnitud el peso de un criterio en particular. Para lo cual fue necesario conocer las relaciones entre los criterios, con el fin de establecer su variación al modificar alguno de sus pesos. Sin embargo, existe una gran dificultad para reconocer la existencia de tales vínculos y cuantificarlos, ya que no es posible obtener una correspondencia clara y marcada sobre su alteración ante una modificación en el peso de alguno de ellos, por lo que se torna imposible proporcionar información fiable y precisa al técnico con este tipo de análisis; por lo tanto, es ineludible aplicar otros métodos como los expuestos por Triantaphyllou y Sánchez (1997) o Wijnmalen y Wedley (2009). En ese sentido, en MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> se empleó el método de variación proporcional para el análisis de sensibilidad.

### Descripción del programa MPC 2.01 MEX<sup>®</sup>

Es un *software* de toma de decisiones mediante análisis multicriterio que utiliza la metodología AHP, el cual fue desarrollado a partir de la versión genérica 2.0 del programa MPC<sup>®</sup> (Pérez-Rodríguez y Rojo, 2010), con el propósito de facilitar la aplicación de la metodología expuesta a un gestor forestal. Las utilidades de la versión MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> se resumen de la siguiente forma: automatización de todos los cálculos; inclusión de un módulo de aleatoriedad, aparición aleatoria de los criterios o alternativas en la parte izquierda o derecha de la pantalla, para evitar que la memoria visual pueda intervenir en diversas repeticiones y cause sesgos en la emisión del juicio y, a su vez, la repetición pierda objetividad; posibilidad de instituir un esquema de criterios en dos niveles, con la intención de hacer más fácil la toma de

a matrix  $W_i$  is created, which shows the weight obtained for each one of the alternatives when they are assessed under the  $i$  criterion.

### Hierarchy: Selection of the best alternative

In order to know the hierarchy of the alternatives, the matrix formed by the  $W_i$  eigenvectors of the alternatives under each criterion multiplied by the matrix of  $W$  eigenvectors obtained for the criteria. The result of this multiplication is the  $P$  matrix, which reveals the final weights for each one of the  $n$  alternatives.

$$\begin{bmatrix} W_{11} & W_{21} & \dots & W_{n1} \\ W_{12} & W_{22} & \dots & W_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{1n} & W_{2n} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}$$

In a given essay, the best alternative to the proposed objective is that which has reached the highest weight.

### Analysis of sensibility

This analysis consisted in determining the changes produced in the results, while varying the magnitude of weight of one particular criterion. Thus it was necessary to know the relations among criteria in order to establish their variation when one of their weights is modified. However, the find the existence of such links and to quantify them is very difficult, as it is not possible to get a clear and marked correspondence about its alteration when a change in the weight of any of them occurs; it then becomes impossible to provide reliable and precise information to the technician when making this kind of analysis and, in this way, it is unavoidable to apply other methods as those described by Triantaphyllou and Sánchez (1997) or Wijnmalen and Wedley (2009). In this sense, in MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> it was used the method of proportional variation for the sensibility analysis.

### Description of the MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> program

It is a software for decision making by a multicriterion analysis that uses the AHP methodology, which was developed from the 2.0 generic version of the MPC<sup>®</sup> program (Pérez-Rodríguez and Rojo, 2010), with the objective to favor the application of the described methodology to the forest consultant. The facilities of the MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> version can be summarized in the following way: the automatic procedure of all calculi; inclusion of a randomness module that is, the appearance at random of criteria and alternatives at the left or right of the screen in order to avoid that the visual memory might intervene in several replications and causes bias in the emission of judgment, and, also, that the replication loses objectivity; possibility to establish a scheme of criteria in two levels in order to make it easier for the user to make a decision; the independent accomplishment of the comparison by pairs of criteria (first phase) and alternatives under each criterion (second phase);

decisión al usuario; realización independiente de la comparación por pares de criterios (primera fase) y alternativas bajo cada criterio (segunda fase); posibilidad de incluir diferentes repeticiones de la decisión, por un mismo o distintos usuarios; cálculo del grado de inconsistencia de la decisión; una interface gráfica para la presentación de los resultados; y el análisis de sensibilidad por variación proporcional. El MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> no expone el grado de inconsistencia mientras se llevan a cabo las comparaciones, sino que lo presenta como resultado de las mismas al final del proceso, pues un tomador de decisiones podría sesgar el peso en las comparaciones, sin mostrar su juicio al respecto, sino mediante la búsqueda de cómo hacer consistente la matriz, con lo cual se perdería la eficiencia del método.

La Figura 2 muestra la ventana principal del programa MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> que permite al usuario acceder a los menús, quien debe cargar la decisión y resolver si elige emplear el árbol de decisión para preseleccionar las opciones de manejo o si prefiere usar de manera directa todos o algunos de los criterios asentados por defecto. De este modo, se crea el esquema de la decisión y, por tanto, el usuario compara los criterios o las alternativas bajo cada criterio, para lo cual se selecciona la pestaña correspondiente, y puede hacer las dos etapas de forma independiente. Dichas confrontaciones se efectúan en la ventana de decisiones (Figura 3), donde se utiliza la escala propuesta por Saaty (1980), pese a la eliminación de las referencias numéricas para facilitar la toma de

possibility to include different replications of the decision by one same or different users; calculation of the degree of inconsistency of the decision; a graphic interphase for the presentation of results and the analysis of the sensibility by proportional variation. MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> does not expose the inconsistency degree, while comparisons are taking place, but it presents it as a results of themselves at the end of the process, as a decision maker could bias the weight in the comparisons, not letting out the judgment in this regard, but looking for making the matrix consistent, with which the efficiency of the method would be lost.

Figure 2 shows the main window of the MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> program that allows the user to the menus, who must load the decision and solve if he chooses to use the decision tree to preselect the management options or if he prefers to use directly all or some of the criteria stabilized by defect. In this way, it is created the decision scheme and, therefore, the user can compare the criteria or the alternatives under each criterion by selecting the corresponding by choosing the corresponding tab and can do both stages in an independent way. Such comparisons are made in the decision window (Figure 3), where the comparison scale of Saaty (1980) is used, in spite of the elimination of the numeral references to facilitate the decision making, in whose lowest part appears a phrase that points out the degree of valuation of an element of the pair over another.

Once the valuations are made, access is made to the window of results in order to see the graphics of the weights that were obtained.

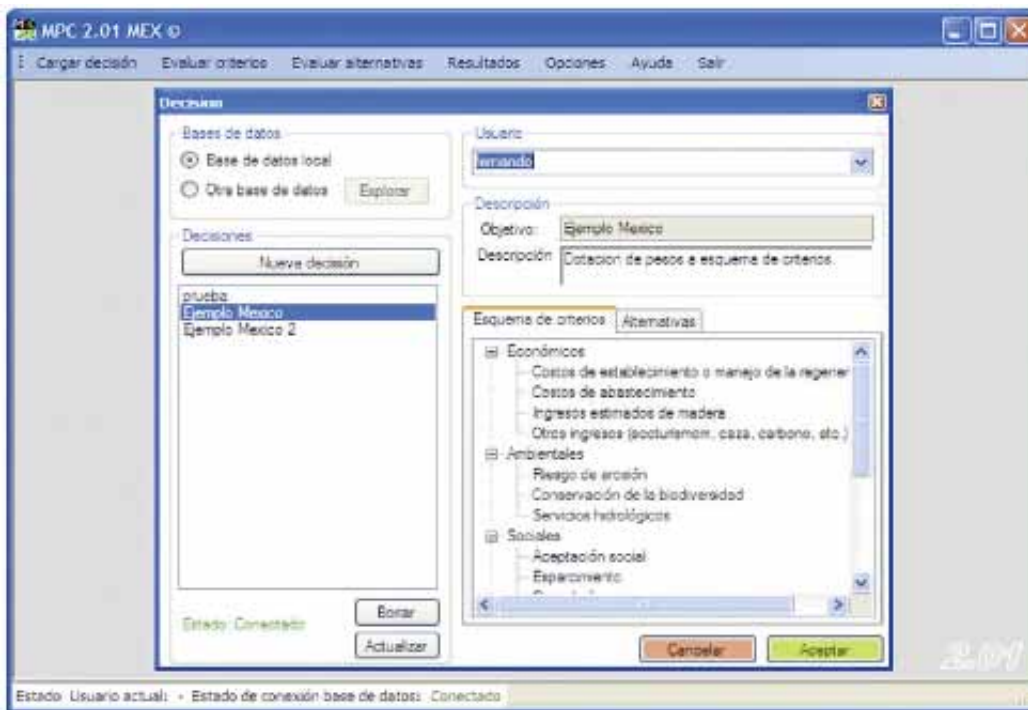


Figura 2. Ventana del programa MPC 2.01 MEX<sup>®</sup>.  
 Figure 2. Window of the MPC 2.01 MEX<sup>®</sup> program.

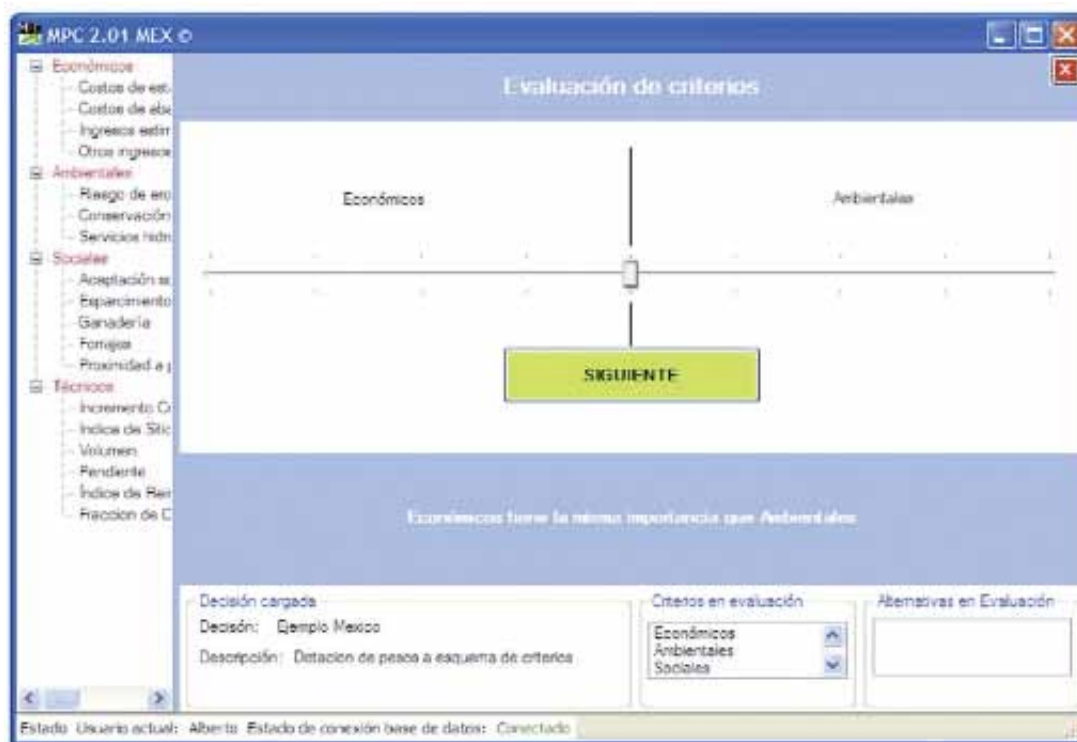


Figura 3. Ventana de decisiones del programa MPC 2.01 MEX®.

Figure 3. Decision window of the MPC 2.01 MEX® program.

decisiones, en cuya parte inferior aparece una frase que señala el grado de valoración de un elemento del par sobre el otro.

Una vez realizadas las valoraciones, se accede a la ventana de resultados para visualizar las gráficas de los pesos obtenidos. Al mismo tiempo, el usuario tiene la opción de añadir las repeticiones que estime oportunas, así como los usufructuarios que desee considerar.

Los resultados generales se consiguen cuando interaccionan todas las valoraciones de los criterios con las correspondientes alternativas o, en su caso, aquellas repeticiones que el usuario seleccione. Además, es posible alcanzar pesos medios entre ellos.

### Aplicación práctica del programa MPC 2.01 MEX®

Para el ejemplo de aplicación del programa, a cinco tomadores de decisiones se les propuso establecer, en un inicio, la elección de los criterios que se tendrían en cuenta en la decisión, esquema que sería único para todos ellos en las repeticiones, con el objeto de poder compararlas entre ellas. El número de tomadores de decisiones es arbitrario (en esta ocasión fueron cinco), pero se recomienda que una decisión sea tomada por un grupo interdisciplinario de expertos para así incorporar diversos puntos de vista. Elegido el esquema, los criterios y subcriterios se compararon por pares (Figura 1), a fin de seleccionar el mejor método de manejo forestal para un subrodal de los bosques de Durango, bajo el ciclo de corta como horizonte de planeación.

At the same time, the user has the option to add the replications he considers opportune as well as the users he would like to take into account.

General results are obtained when making all the valuations of the criteria interact in all the valuations of the alternatives, or if ever, those replications that the user selects. In addition, it is possible to reach average weights among them.

### Practical application of the MPC 2.01 MEX® program

For the example of the application of the program, to five decision-makers was proposed to establish, at first, the election of the criteria that would be taken into account in the decision, a unique scheme for all of them in the replications, in order to be able to compare them among themselves. The number of decision makers is arbitrary (they were five this time), but it is advisable that one decision would be taken by an interdisciplinary group of experts as to involve diverse points of view. Once the scheme is elected, the criteria and subcriteria are compared by pairs (Figure 1), in order to select the best forest management method for a substand in forests of Durango, under the cutting cycle as planning period.

Each user made three replications of the same decision, which makes an arbitrary number, as well as that which refers to those who make decisions. Nevertheless, this number might be increased by the characteristics of the developed, thus staying

Cada usuario efectuó tres repeticiones de la misma decisión, lo que constituye un número arbitrario, igual que el relativo a quienes toman las decisiones. No obstante, esta cifra puede ser aumentada por las características de la herramienta desarrollada, por lo que queda a criterio del responsable la decisión de incrementarla. De cada repetición se consiguieron los pesos e inconsistencias de los criterios y subcriterios. Por último, se realizó el análisis de sensibilidad para advertir la rigidez de la decisión tomada.

## RESULTADOS

En el Cuadro 3 se muestra la jerarquía obtenida de los criterios, derivada de las repeticiones más consistentes de cinco participantes, mientras que la Figura 4 corresponde a la ventana de MPC 201 MEX®, donde se exhibe la interface del programa con los resultados. Se observa que el subcriterio Pendiente es uno de los más valorados al momento de elegir el método de manejo, así como el ICA y los costos de establecimiento o manejo de la regeneración.

Cuadro 3. Jerarquía de criterios obtenidos como resultado de las calificaciones pareadas de la repetición más consistente de cada uno de los cinco tomadores de decisiones.

Table 3. Hierarchy of the obtained criteria as a result of the paired grades of the most consistent replications from each of the five decision makers.

Jerarquía de Criterios	
Técnicos	55.9%
Económicos	26.1%
Sociales	10.3%
Ambientales	7.7%
Jerarquía de Subcriterios:	
Pendiente	35.6%
Incremento Crecimiento Anual	12.4%
Costos de establecimiento o manejo de la regeneración	12.3%
Volumen	7.7%
Costos de abastecimiento	6.4%
Ingresos estimados de madera	5.1%
Riesgo de erosión	4.8%
Aceptación social	3.5%
Ganadería	3.0%
Otros ingresos (ecoturismo, caza, carbono, etcétera.)	2.4%
Servicios hidrológicos	2.1%
Proximidad a poblados	1.7%
Forrajes	1.1%
Esparcimiento	1.0%
Conservación de la biodiversidad	0.9%

En el Cuadro 4 se presenta el resultado de la evaluación de dos técnicos, respecto a la comparación de cada una de las alternativas bajo cada criterio.

at will of the responsible of the decision to rise it. From each replications were obtained the weights and inconsistencies of the criteria and subcriteria for each one of them. Finally, a sensibility analysis was carried out to detect the severity of the decision that was made.

## RESULTS

Table 3 shows the hierarchy from the criteria, that came from the more consistent replications from five participants, while in Figure 4 the MPC 201 MEX® window where the interphase of the program with the results can be noticed. The Slope subcriterion can be seen, and it is one the most appreciated when the management method is to be chosen, as well as the ICA and the costs from establishment or regeneration management.



Table 4 shows the result of the assessment made by two technicians, in regard to the comparison of each of the alternatives under each criterion.

It is observed that MMOBI and MDS outstand under great part of the criteria, while Clear Cutting has got the highest record



Cuadro 4. Pesos e inconsistencias de los criterios utilizados en el ejemplo de aplicación del programa MPC 2.01 MEX®.

Table 4. Weights and inconsistencies of the criteria used in the example of the application of the MPC 2.01 MEX® program.

Criterio	Técnico 1			Técnico 2	
	Alternativa	Resultado	Inconsistencia	Resultado	Inconsistencia
Costos de establecimiento o manejo de la regeneración	MMOBI	0.313	0.000	0.303	0.052
	MDS	0.313	0.000	0.237	0.052
	Matarrasa	0.063	0.000	0.061	0.052
	No cortar	0.313	0.000	0.399	0.052
Costos de abastecimiento	MMOBI	0.122	0.052	0.120	0.116
	MDS	0.122	0.052	0.120	0.116
	Matarrasa	0.283	0.052	0.252	0.116
	No cortar	0.473	0.052	0.509	0.116
Ingresos estimados de madera	MMOBI	0.190	0.090	0.190	0.090
	MDS	0.209	0.090	0.209	0.090
	Matarrasa	0.540	0.090	0.540	0.090
	No cortar	0.061	0.090	0.061	0.090
Otros ingresos (ecoturismo, caza, carbono, etcétera)	MMOBI	0.380	0.053	0.389	0.015
	MDS	0.380	0.053	0.389	0.015
	Matarrasa	0.062	0.053	0.069	0.015
	No cortar	0.179	0.053	0.153	0.015
Riesgo de erosión	MMOBI	0.313	0.000	0.321	0.011
	MDS	0.313	0.000	0.285	0.011
	Matarrasa	0.063	0.000	0.074	0.011
	No cortar	0.313	0.000	0.321	0.011
Conservación de la biodiversidad	MMOBI	0.313	0.000	0.313	0.000
	MDS	0.313	0.000	0.313	0.000
	Matarrasa	0.063	0.000	0.063	0.000
	No cortar	0.313	0.000	0.313	0.000
Servicios hidrológicos	MMOBI	0.313	0.000	0.313	0.000
	MDS	0.313	0.000	0.313	0.000
	Matarrasa	0.063	0.000	0.063	0.000
	No cortar	0.313	0.000	0.313	0.000
Aceptación social	MMOBI	0.543	0.069	0.389	0.015
	MDS	0.245	0.069	0.389	0.015
	Matarrasa	0.076	0.069	0.069	0.015
	No cortar	0.136	0.069	0.153	0.015
Esparcimiento	MMOBI	0.552	0.103	0.411	0.011
	MDS	0.248	0.103	0.380	0.011
	Matarrasa	0.056	0.103	0.061	0.011
	No cortar	0.143	0.103	0.148	0.011
Ganadería	MMOBI	0.389	0.015	0.365	0.053
	MDS	0.389	0.015	0.365	0.053
	Matarrasa	0.069	0.015	0.172	0.053
	No cortar	0.153	0.015	0.099	0.053
Forrajes	MMOBI	0.365	0.053	0.411	0.011
	MDS	0.365	0.053	0.361	0.011
	Matarrasa	0.099	0.053	0.120	0.011
	No cortar	0.172	0.053	0.107	0.011

Continúa Cuadro 4..

Continúa Cuadro 4...

Criterio	Técnico 1			Técnico 2	
	Alternativa	Resultado	Inconsistencia	Resultado	Inconsistencia
Proximidad a poblados	MMOBI	0.491	0.067	0.515	0.047
	MDS	0.291	0.067	0.282	0.047
	Matarrasa	0.067	0.067	0.058	0.047
	No cortar	0.151	0.067	0.145	0.047
Incremento Crecimiento Anual	MMOBI	0.463	0.106	0.389	0.015
	MDS	0.273	0.106	0.389	0.015
	Matarrasa	0.169	0.106	0.153	0.015
	No cortar	0.096	0.106	0.069	0.015
Volumen	MMOBI	0.389	0.015	0.219	0.053
	MDS	0.389	0.015	0.219	0.053
	Matarrasa	0.153	0.015	0.501	0.053
	No cortar	0.069	0.015	0.062	0.053
Pendiente	MMOBI	0.516	0.041	0.442	0.090
	MDS	0.230	0.041	0.306	0.090
	Matarrasa	0.049	0.041	0.066	0.090
	No cortar	0.205	0.041	0.187	0.090

Se observa que el MMOBI y el MDS destacan bajo gran parte de los criterios, mientras que la Matarrasa ha conseguido la máxima puntuación para el criterio Ingresos estimados de madera; asimismo, la alternativa No Cortar fue la más valorada con el criterio Costos de establecimiento o manejo de la regeneración. La elección de las repeticiones consistentes es elemental, ya que en el caso de utilizar las inconsistentes se incorporarían datos de confiabilidad insuficiente en los resultados finales; por ejemplo, decisiones tomadas al azar.

El programa MPC 2.01 MEX® incluye múltiples posibilidades de cálculo matricial con objeto de alcanzar los resultados generales de todo el proceso. Para este ejemplo se decidió interaccionar todas las repeticiones de los pesos de evaluación de criterios con la repetición de evaluación de alternativas para cada uno, a fin de poder apreciar las diferencias entre ellas.

El Cuadro 5 reúne los resultados combinados de las repeticiones más consistentes de cada tomador de decisiones con respecto a los pesos de los criterios, así como los de las alternativas. El método de manejo MMOBI es el que más peso adquirió como resultado global del análisis, seguido por MDS, No Cortar y aplicar Matarrasa. Si se considera la variabilidad de pesos entre los usuarios, se puede reconocer en ella (Cuadro 5) que la desviación estándar es muy baja, lo cual denota que lo obtenido es común a los participantes.

El análisis de sensibilidad evidenció la variación en los pesos de los criterios.

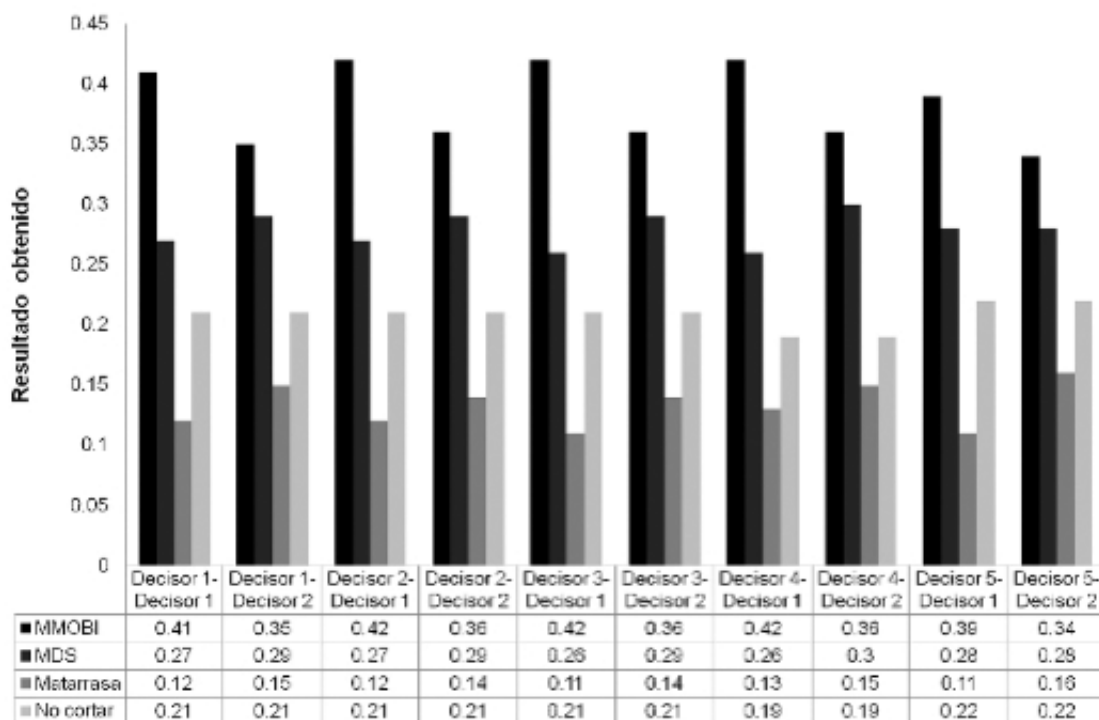
under the Estimated Income from Wood criterion; also, the Not to cut option has been the best valued under the Establishment costs or Regeneration Management criterion. The election of the consistent replications is fundamental, since as in the case of using the inconsistent ones, data of not- enough -reliability data would get involved in the final results, as for example, decisions taken at random.

The MPC 2.01 MEX® program includes multiple possibilities of matricial calculus in order to reach the general results that of the whole process. For this example, it was decided to make interact all the replications of the weights of the assessment of criteria with the replication of the evaluation of alternatives under each criterion, in order to be able to appreciate the differences among them.

Table 5 puts together the combined results of the most consistent replications of each one of the decision makers in regard to the weights of the criteria, as well as of the alternatives. The MMOBI management method gained the greatest weight as a global result of the analysis, followed by MDS, No to Cut and apply Clear Cutting. If the variability of weight among the users is taken into account, it can be acknowledged in it (Table 5) that the standard deviation is very low, which denotes that the result that is obtained is common to the participants.

Once the general results have been reached, an analysis of sensibility was made in which the weights obtained for the criteria varied.





\*En ella se muestra un detalle de cómo se grafican los resultados finales.

\* A detail of how are designed the final results is shown here.

Figura 4. Ventana de resultados del programa MPC 2.01 MEX®.

Figure 4. Window of the MPC 2.01 MEX® program results\*.

Cuadro 5. Resultados de valoración para cada alternativa.

Table 5. Results of the valuation for each alternative.

Combinaciones		MMOBI	MDS	Matarrasa	No cortar
Peso Criterios	Peso Alternativas				
Decisor 1	Decisor 1	0.41	0.27	0.12	0.21
Decisor 1	Decisor 2	0.35	0.29	0.15	0.21
Decisor 2	Decisor 1	0.42	0.27	0.12	0.21
Decisor 2	Decisor 2	0.36	0.29	0.14	0.21
Decisor 3	Decisor 1	0.42	0.26	0.11	0.21
Decisor 3	Decisor 2	0.36	0.29	0.14	0.21
Decisor 4	Decisor 1	0.42	0.26	0.13	0.19
Decisor 4	Decisor 2	0.36	0.3	0.15	0.19
Decisor 5	Decisor 1	0.39	0.28	0.11	0.22
Decisor 5	Decisor 2	0.34	0.28	0.16	0.22
Promedio		0.382	0.278	0.133	0.207
Desviación estándar		0.032	0.014	0.018	0.010

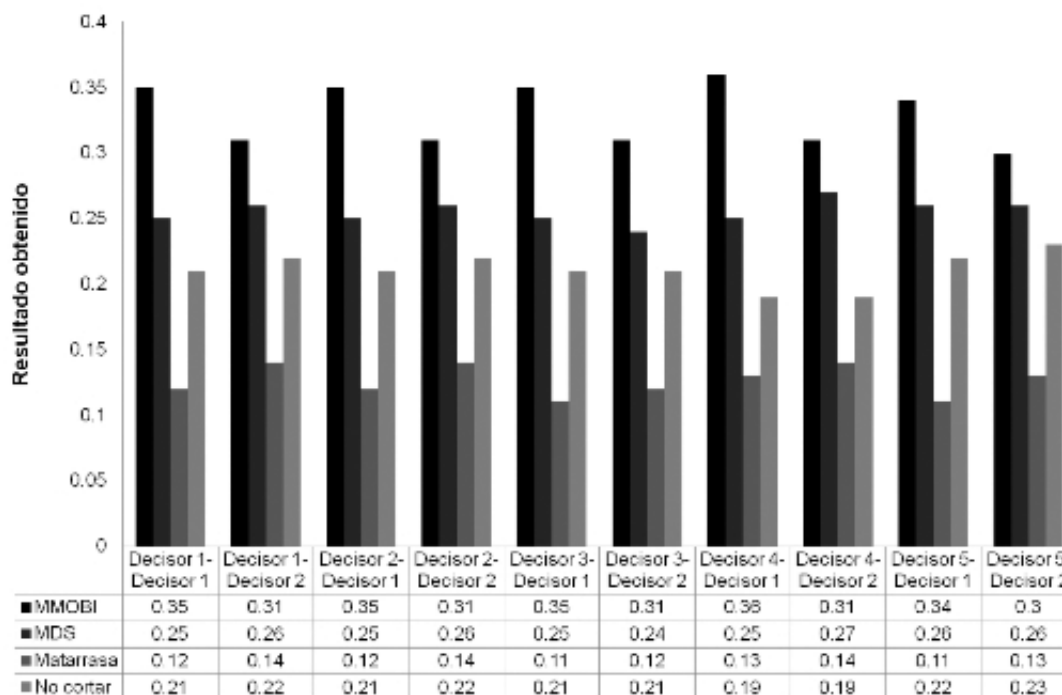


Figura 5. Visualización de los resultados del análisis de sensibilidad en el programa MPC 2.01 MEX®.  
 Figure 5. View of the results of the sensibility analysis in the MPC 2.01 MEX® program.

En la Figura 5 se puede advertir que, por ejemplo, al reducir 20% el peso del conjunto de criterios técnicos establecidos, la jerarquía no varía; sin embargo, las alternativas Corta a Matarrasa y No Cortar suben de peso, en tanto que el MDS y MMOBI disminuyen. El análisis de sensibilidad ayuda, en este caso, al tomador de decisiones a determinar la rigidez de la jerarquía final.

## CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología AHP ayuda a considerar todos los criterios posibles para tomar decisiones más acertadas en todos los niveles: técnicos, ambientales, sociales y económicos. Permite tomar en cuenta criterios tangibles e intangibles, lo cual es de suma importancia en el ámbito del manejo forestal, ya que muchos de ellos son de difícil cuantificación.

MPC 2.01 MEX® puede ser una herramienta informática de gran valor para el manejo forestal de los bosques de México, puesto que su uso es sencillo y rápido. Además, admite la interacción de los pesos derivados de los criterios y de las alternativas de decisión realizadas por diferentes usuarios, y de distintas repeticiones de los mismos, así como visualizar los cambios implicados en la decisión final debido a dichas interacciones.

Por otra parte, el responsable de la decisión debe manejar los resultados de todas las repeticiones ejecutadas y escoger con base en la variabilidad temporal y en la opinión de diferentes

It can be observed in Figure 5 that, for example, when 20% is reduced from the weight of the group of established technical criteria, hierarchy does not change; however, the Clear Cutting and No to Cut options raise their weight, while MDS and MMOBI lower. The sensibility analysis helps, in this case, the decision maker, to determine the harshness of the final hierarchy.

## CONCLUSIONS

The application of the AHP methodology helps to take into account all the possible criteria to decide the most correct way in all levels (technical, environmental, social and economic). Also, the methodology described makes it possible to consider tangible and intangible criteria, which is extremely important in the forest management field, since many of the treated criteria are difficult to quantify.

MPC 2.01 MEX® can be a very helpful tool for the forest management of the forests of Mexico, since it favors the application of the AHP in an easier and faster way. It also allows the interaction of weights from the criteria with the decision alternatives made by different users and replications of them, and to view the changes involved in the final decision due to these interactions.

On the other hand, the responsible of the decision must handle the results of all the replications that were made and to choose starting from the basis of the temporal variability and



actores; esto es importante en el caso de las decisiones de alto impacto, situación en la que se recomienda obtener intervalos de confianza en cada criterio para la aplicación de la inferencia estadística y de la optimización.

Por último, en la toma final de la decisión, el responsable deberá considerar la variabilidad que los tomadores de decisiones tienen respecto a ciertos criterios subjetivos, por la propia calidad humana de los mismos. En consecuencia, se sugiere la realización de diversas repeticiones de las comparaciones de criterios o alternativas bajo cada criterio, a fin de estudiar sus resultados de modo más conciso.

## AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONAFOR-CONACYT de México (Proyecto CONAFOR-2007-C01-71447), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (Proyecto FOMIX-DGO-C08-2008-94895) y al Ministerio de Ciencia e Innovación de España (Subproyecto "Decide" PSS-310000-2009-23, como parte del Proyecto "Restauración y gestión forestal" PSE-310000-2009-4, financiado por la Unión Europea mediante fondos FEDER).

## REFERENCIAS

- Carmone F. J., A. Kara and S. Zanakis. 1997. A Monte Carlo investigation of incomplete pairwise comparison matrices in AHP. *European Journal of Operational Research* 102: 538-553.
- Choo, E. U. and W. C. Wedley. 2008. Comparing Fundamentals of Additive and Multiplicative Aggregation in Ratio Scale Multi-Criteria Decision Making. *The Open Operational Research Journal* 2:1-7.
- Feinstein, J. L. and R. Lumley. 2001. Theoretical and practical aspects of AHP using a scale derived from the time it takes to decide between two choices instead of one derived from "1-9" estimates. 6<sup>th</sup> ISAHP. August 2-4, 2001. Berne, Switzerland. pp. 93-100.
- Gadow, K. V. and B. Breidenkamp. 1992. *Forest management*. Academica. Pretoria, South Africa. 151 p.
- Kangas, J. 1993. A multi-attribute preference model for evaluating the reforestation chain alternatives of a forest stand. *Forest. Ecol. and Manag.* 59:271-288.
- Kangas, J. and A. Kangas. 2005. Multiple criteria decision support in forest management. The approach, methods applied and experiences gained. *Forest. Ecol. Manag.* 207: 133-143.
- Kangas, J., T. Loikkanen, T. Pukkala and J. Pykäläinen. 1996. A participatory approach to tactical forest planning. *Acta Forestalia Fennica* 251. 24 p.
- Kangas, A., J. Kangas and M. Kurttila. 2008. *Decision Support for Forest Management*. Springer Science. The Netherlands. 221 p.
- Kurttila, M., M. Pesonen, J. Kangas and M. Kajanus. 2000. Utilizing the Analytic Hierarchy Process (AHP) in SWOT analysis - a hybrid method and its application to forest-certification case. *Forest Policy and Economics* 1:41-52.
- Laininen, P. 2001. On the covariance structure and simultaneous comparisons of the estimates of AHP-Weights. In: *Proceedings of the 6<sup>th</sup> ISAHP*. Berne, Switzerland. August 2-4, 2001. pp. 253-254.
- Leskinen, P. and J. Kangas. 1998. Analysing uncertainties of interval judgment data in multiple-criteria evaluation of forest plans. *Silva Fennica* 32(4):363-372.
- Mendoza, G. A. and R. Prabhu. 2000. Multiple criteria decision-making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: A case study. *Forest. Ecol. and Manag.* 131:107-126.
- Mendoza, G. A. and W. Sprouse. 1989. Forest planning and decision making in fuzzy environments: an overview and illustration. *Forest Science* 35:481-502.

in the opinion of different actors; this is important in the case of high impact decisions, a situation in which it is advised to have confidence intervals in each criterion for the application of the statistical inference and optimization.

Finally, in the final decision making, the responsible must take into account the variability than decision makers have in regard to some subjective criterion, from the human condition itself. Consequently, it is suggested to make several replications of the comparisons of the criteria or alternatives under each criterion, in order to study the results of them in a more concise way.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To the Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONAFOR-CONACYT of México (CONAFOR Project Number-2007-C01-71447); to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (FOMIX-DGO Project Number C08-2008-94895) and to the Ministerio de Ciencia e Innovación de España ("Decide" Subproject Number PSS-310000-2009-23, as part of the project entitled as "Restauración y gestión forestal" PSE-310000-2009-4, sponsored by the European Union with FEDER funds).

*End of the English version*

- Musálem L. F. 1979. *Las bases y primeras acciones del programa nacional de mejoramiento silvícola en bosques de coníferas*. SAG- SFF. México, D.F. México. 102 p.
- Pérez-Rodríguez, F. and A. Rojo. 2010. Apply the AHP by new free software called MPC for take decisions in forest management. In: Parrota, J. A. and M. A. Carr. (comp.) XXIII IUFRO World Congress Abstracts, Forests for the future: Sustaining Society and the Environment. Seoul, Korea. 23-28 August 2010. *The International Forestry Review* 12(5): 189.
- Pukkala, T. and J. Kangas. 1993. A heuristic optimization method for forest planning and decision-making. *Scand. J. For. Res.* 8:560-570.
- Pukkala, T. and J. Kangas. 1996. A method for incorporating risk and risk attitude into forest planning. *Forest Science* 42:198-205.
- Raharjo, J., S. Halim and S. Wanto. 2001. Evaluating comparison between consistency improving method and resurvey in AHP. 6<sup>th</sup> ISAHP 2001. Berne, Switzerland. August 2-4 2001. pp.198-205.
- Reineke, L. H. 1993. Perfecting a stand index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46: 627-638.
- Reynolds, K. 1997. Setting priorities for maintenance and restoration projects with the analytic hierarchy process and SMART. In: *ACS/WASPRS/RT Convention*. 4:163-170.
- Reynolds, K. M. and E. Holsten. 1994. Relative importance of risk factors for spruce beetle outbreaks. *Can. J. Forest. Res.* 24: 2089-2095.
- Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. Planning priority setting, resource allocation. McGraw-Hill. New York, NY, USA. 287 p.
- Saaty, T. L. 1990. *Decision making for Leaders. The Analytic Hierarchy Process for decision in a complex world*. University of Pittsburgh. RWS Publications. Pittsburgh, PA, USA. 292 p.
- Saaty T. L. 2003. Decision-Making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research* 145: 85-91.
- Schmoldt, D. L. and D. L. Peterson. 2000. Analytical group decision making in natural resources: Methodology and application. *Forest Science* 46: 62-75.
- Schmoldt, D. L., D. L. Peterson and D. Silsbee. 2001. Developing inventory and monitoring programs based on multiple objectives. *Environmental Management* 18 (5):707-727.

- Schmoldt, D. L., J. Kangas, G. A. Mendoza and M. Pesonen. 2001. The Analytic Hierarchy Process in natural resource and environmental decision making. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 305 p.
- Schoner, B. and W. Wedley. 2007. Ambiguous criteria weights in AHP: Consequences and solutions. Faculty of Business Administration, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada. 335 p.
- Triantaphyllou, E. and A. Sánchez. 1997. A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision making methods. *Decision Sciences* 28 (1):151-194.
- Vargas-Larreta, B. 2006. *Analyse und Prognose des Einzelbaumwachstums in Strukturreichen Mischbeständen in Durango, Mexiko*. Univ. Göttingen, Göttingen, Deutschland. 173 p.
- Wedley, W. C. and E. U. Choo. 2001. A unit interpretation of multi-criteria ratios. 6th ISAHP 2001, Berne, Swizerland. August 2-4 2001. pp. 561-569.
- Wijnmalen, D. J. and W. C. Wedley. 2009. Correcting illegitimate rank reversals. Proper adjustment of criteria weights prevent alleged AHP intransitivity. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 15: 135-141.
- Ying-Ming, W. and M. S. Taha. 2006. An approach to avoid rank reversal in AHP. *Decision Support Systems*. 42:1474-1480.
- Zanazzi, J. L. 2003. Anomalías y supervivencia en el método de toma de decisiones de Saaty. In: Godoy, L. A. (ed.). *Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología* Vol. 1. Córdoba, España. pp. 148-170.
- Zeshui, X. M. and W. Cuiping. 1999. A consistency improving method in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*. 116:443-449.

