



Ensayo Técnico / Technical Essay

Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales

Methodologies to find priority areas for the conservation of natural ecosystems

Honorio Chávez González¹, Manuel de Jesús González Guillén¹
y Patricia Hernández de la Rosa¹

Resumen

La identificación de áreas prioritarias permite orientar y optimizar los esfuerzos de conservación en los ecosistemas naturales; para ello se han generado diferentes metodologías de tipo cualitativo y cuantitativo. Los objetivos del presente trabajo fueron revisar y analizar los métodos utilizados para la identificación de áreas prioritarias para conservación; proponer una definición de las mismas y establecer un esquema metodológico general que oriente la realización de estudios futuros en este tema. Durante el desarrollo se analizaron las técnicas cualitativas que parten de análisis simples y la experiencia de expertos; y las cuantitativas que se basan en el uso de modelos estadísticos y de optimización; además de técnicas espaciales utilizadas como herramientas para la realización de procesos cuantitativos más simples. De todas ellas, las segundas presentan ventajas, ya que consideran la ejecución de análisis más detallados, tanto de criterios como de restricciones y amenazas. Las etapas mínimas que deben llevarse a cabo son la definición del objetivo por priorizar, la selección y el procesamiento de criterios; la identificación de restricciones y amenazas; así como la elección de áreas mediante métodos de optimización. El conocimiento de las diferentes metodologías facilita a los tomadores de decisiones elegir o combinar las más adecuadas para el objetivo principal.

Palabras clave: Áreas aptas, áreas potenciales, estadística espacial, ordenamiento ecológico, recursos naturales, toma de decisiones.

Abstract

Identification of priority areas allows to orient and optimizes conservation efforts in natural ecosystems; to do that different approaches have been generated. The purpose of this study was to review and analyze the methodologies used in the identification of priority areas for conservation, proposing a definition and establishing a general methodological scheme that guides future studies on this topic. There were found and analyzed: (a) qualitative methods that are defined by simple analysis and experience of experts, (b) quantitative methods based on the use of statistical and optimization models, and (c) spatial techniques which can be used as methodological tools that perform simple quantitative processes. Of these, the quantitative methods take advantages since they conduct more detailed analysis of criteria, constraints and threats. The minimum steps that allow a proper identification of priority areas are: to prioritize goal definition, selection and processing criteria, restrictions and threats identification, and selection of areas using optimization methods. Knowledge of the different methodologies helps to decision makers to choose or combine the most suitable for the target to prioritize.

Key words: Suitable area, potential area, space statistics, natural resources, ecological ordination, decision making.

Introducción

Los ecosistemas proporcionan a la sociedad una amplia gama de servicios de provisión, regulación, de soporte y culturales (MEA, 2003); son la base de la subsistencia, desarrollo económico y social del que depende la humanidad (Gómez y Groot, 2007). Es por ello que se deben manejar de manera sustentable para mantenerlos saludables y no comprometer la generación de los servicios ambientales que producen (Machín y Casas, 2006). Por lo tanto, es importante la creación de estrategias y programas de conservación y manejo de los recursos naturales (Koleff *et al.*, 2009; Semarnat, 2006).

Dado el costo alto que representa la conservación de grandes superficies (Razola *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2008) y las limitaciones de recursos, principalmente de tipo económico, la conservación debería centrarse en áreas donde se produzcan los mayores beneficios y los esfuerzos invertidos deriven en mejores impactos, sobre todo de tipo ambiental (Benegas y León, 2009; Geneletti *et al.*, 2011; Razola *et al.*, 2006). Aspectos fundamentales para alcanzar una conservación eficaz son definir, conocer y dar prioridad a los lugares en los que se tiene que actuar en primera instancia (Geneletti *et al.*, 2011). Una herramienta valiosa para orientar y optimizar los esfuerzos del estudio, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales es la identificación de áreas prioritarias para esos fines (Arriaga *et al.*, 2009; Ceballos *et al.*, 2009; Koleff *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2008).

En las últimas tres décadas se han diseñado y desarrollado varios modelos computarizados para apoyar la identificación de áreas prioritarias para la conservación (Blumentrath, 2011). Al respecto, existen trabajos comparativos (Blumentrath, 2011) y descriptivos (Margules y Sarkar, 2009; Margules *et al.*, 2002; Semarnat, 2006) de los métodos de optimización, de los modelos estadísticos espaciales y de los métodos específicos para conservación de la biodiversidad, que pueden ser usados durante el proceso metodológico de identificación de áreas prioritarias. Sin embargo, en la actualidad no existe una recopilación y análisis comparativo de las metodologías generales que hagan o no uso de ellos.

Bajo este contexto, el objetivo del presente estudio fue realizar un análisis comparativo de las metodologías citadas en la literatura y que han sido utilizadas para identificar áreas prioritarias para conservar recursos naturales. Además, se propone un concepto de área prioritaria, conocer las diferencias de esta con otros tipos y los diversos enfoques que pueden tener, así como las etapas mínimas que debe contener una metodología adecuada para su definición. La importancia de este trabajo radica en conocer las fortalezas y limitaciones de las metodologías actuales, en relación al concepto de un área prioritaria y sus implicaciones. Con base en lo anterior, elegir o combinar la(s) metodología(s) de acuerdo al objetivo

Introduction

Ecosystems provide society a wide range of provisioning, regulating, supporting and cultural services (MEA, 2003); they are the basis of subsistence, economic and social development from which humanity depends (Gómez and Groot, 2007). That is why they must be sustainably managed to keep them healthy and not compromise the generation of the environmental services they produce (Machín and Casas, 2006). Therefore, it is important to create strategies and programs for conservation and management of natural resources (Koleff *et al.*, 2009; Semarnat, 2006).

Given the high cost of preserving large areas (Razola *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2008) and resource constraints, mainly financial, conservation should focus on areas where the greatest benefits occur and the invested efforts resulting in better impacts, especially of the environmental type (Benegas and León, 2009; Geneletti *et al.*, 2011; Razola *et al.*, 2006). Essential aspects to achieve effective conservation are to define, to know and to prioritize places where action must focus in the first instance (Geneletti *et al.*, 2011). A valuable tool to guide and optimize the efforts of the study, conservation and sustainable use of natural resources is the identification of priority areas for these purposes (Arriaga *et al.*, 2009; Ceballos *et al.*, 2009; Koleff *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2008).

In the last three decades several computer models to support the identification of priority conservation (Blumentrath, 2011) areas have designed and developed. In this regard, there are descriptive comparative works (Blumentrath, 2011; Margules and Sarkar, 2009; Margules *et al.*, 2002; Semarnat, 2006) of the optimization methods, of spatial statistical models and specific methods for conservation biodiversity, which can be used during the methodological process of identifying priority areas. However, currently there is no collection and comparative analysis of the general methodologies that do or do not use them.

In this context, the objective of this study was to conduct a comparative analysis of these methodologies in the literature and that have been used to identify priority areas to conserve natural resources. In addition, a concept of priority area is proposed, to know the differences of the other types and the various approaches that can have as well as the minimum steps that must contain an appropriate methodology for its definition. The importance of this work was to determine the strengths and limitations of current methodologies in relation to the concept of a priority area and their implications. Based on the above, to choose or combine the method(s) according to the specific objective pursued. Such information is invaluable for decision makers to identify priority areas for conservation.

específico que se persiga. Dicha información resulta muy valiosa para los tomadores de decisiones para la identificación de áreas prioritarias para la conservación.

Concepto de áreas prioritarias

Los estudios relacionados con la identificación de áreas prioritarias incluyen al espacio geográfico, el objetivo y los aspectos sociales como términos comunes en la definición de este concepto (Arriaga *et al.*, 2000; Galindo *et al.*, 2009; Semarnat, 2011). Para efectos de la presente investigación, las áreas prioritarias para la conservación de los recursos naturales son representaciones espaciales del territorio, donde confluyen atributos ambientales, biofísicos, socioeconómicos, culturales o políticos específicos y óptimos para un objetivo dado; y cuya permanencia está en riesgo inminente por causas naturales, humanas o ambas.

Las áreas prioritarias difieren de las áreas aptas y de las potenciales u óptimas. Las que se clasifican como aptas corresponden a los espacios del territorio que reúnen las características naturales necesarias para la provisión o desarrollo de un determinado servicio; por ejemplo, agua o el ecoturismo (Fuenzalida *et al.*, 2013; Kumar y Kumar, 2011); o una actividad: establecimiento de plantaciones forestales comerciales (Bustillos *et al.*, 2007; Olivas *et al.*, 2007). Si además, se desea integrar otro tipo de información, como aspectos socioeconómicos, que ayude o limite la aptitud de esos espacios, entonces se identifican las áreas potenciales mediante modelos estadísticos espaciales y métodos de optimización (González *et al.*, 1996). Finalmente, las áreas prioritarias surgen cuando las identificadas como potenciales resultan estar en riesgo o ser vulnerables a cambios que disminuyan su capacidad para proveer el servicio o actividad considerada (Arrivillaga y Windevoxhel, 2008; Galindo *et al.*, 2009; Harris *et al.*, 2008). Es decir, las áreas prioritarias son más específicas y se circunscriben en las áreas potenciales, las cuales, a su vez, están dentro de las áreas aptas.

Origen de las áreas prioritarias

La necesidad de conservar los recursos naturales siempre ha estado presente, desde las civilizaciones más antiguas. Uno de los primeros esfuerzos legales para la conservación de los recursos naturales fue el establecimiento de áreas naturales protegidas, a raíz del decreto en 1872 del Parque Nacional Yellowstone en los Estados Unidos de América, y en México con la protección del área natural Desierto de los Leones en 1876. Para 1920 ya existían parques nacionales en todos los continentes. De tal manera que, las áreas protegidas se volvieron una de las principales estrategias para promover la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad (Ceballos *et al.*, 2009; Conabio *et al.*, 2007; Geneletti *et al.*, 2011). Sin embargo, en la mayoría de los países, incluido México, los sistemas de

Concept of priority areas

Studies related to the identification of priority areas include the geographical area, the purpose and the social aspects as common terms in the definition of this concept (Arriaga *et al.*, 2000; Galindo *et al.*, 2009; Semarnat, 2011). For purposes of this research, priority areas for conservation of natural resources are spatial representations of the territory where there is the confluence of environmental attributes, biophysical, socioeconomic, cultural or political, specific and optimal for a given aim, and whose permanence is at imminent risk from natural, human or both causes.

Priority areas differ from suitable and potential or optimal areas. Those classified as suitable correspond to areas of the territory that meet the natural characteristics necessary for the provision or development of a particular service; i.e., water or ecotourism (Fuenzalida *et al.*, 2013; Kumar and Kumar, 2011); or activity: establishment of commercial forest plantations (Bustillos *et al.*, 2007; Olivas *et al.*, 2007). Furthermore, if it desired to integrate other information such as socioeconomic aspects, which might help or limit the ability of those spaces, then the potential areas through spatial statistical models and optimization methods are identified (González *et al.*, 1996). Finally, priority areas arise when the potential are identified as being at risk or vulnerable to changes that diminish their ability to provide the service or activity in question (Arrivillaga and Windevoxhel, 2008; Galindo *et al.*, 2009; Harris *et al.*, 2008). That is, the priority areas are more specific and confined in the potential areas, which, in turn, are within the suitable areas.

Origin of the priority areas

The need to conserve natural resources has always been present, from the oldest civilizations. One of the first legal efforts for the conservation of natural resources was the establishment of protected areas, following the decree in 1872 of Yellowstone National Park in the United States, and in Mexico of the protection of *Desierto de los Leones* natural area in 1876. By 1920 national parks existed on all continents. In this way, protected areas became one of the main strategies to promote the conservation of ecosystems and their biodiversity (Ceballos *et al.*, 2009; Conabio *et al.*, 2007; Geneletti *et al.*, 2011). However, in most countries, including Mexico, the systems of protected areas were selected without considering a specific methodology (Conabio *et al.*, 2007) and in many cases, the areas were not representative of the basic objective of conservation.

Systematic conservation planning began to develop in the 1970s with the contributions of various selection criteria (Koleff *et al.*, 2009), which agreed fully with the first international conference (Stockholm Conference in 1972) on international environmental issues. However, given the financial constraints for the protection of biodiversity, these criteria have been refined to optimize the

áreas protegidas fueron seleccionados sin considerar una metodología específica (Conabio *et al.*, 2007) y en muchos casos, las áreas no fueron representativas del objetivo básico de conservación.

La planificación sistemática de la conservación empezó a desarrollarse en la década de 1970 con los aportes de diversos criterios de selección (Koleff *et al.*, 2009), que coincidieron plenamente con la primera conferencia internacional (Conferencia de Estocolmo en 1972) sobre cuestiones ambientales internacionales. No obstante, dadas las limitaciones económicas para la protección de la biodiversidad, estos criterios se han ido refinando para optimizar el uso de los recursos mediante la selección de áreas prioritarias para la conservación. Algunos ejemplos notables de priorización de áreas para la conservación en el ámbito mundial incluyen los *hotspots* de biodiversidad, las áreas de endemismo de aves (EBA) y los sitios cero extinciones (Ceballos *et al.*, 2009; Koleff *et al.*, 2009).

Desde 1997 en México, diversas iniciativas auspiciadas por instituciones gubernamentales y no gubernamentales, nacionales e internacionales han concentrado sus esfuerzos de investigación en la identificación de regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el ámbito nacional (Arriaga *et al.*, 2009). En años recientes se han realizado estudios para la selección de áreas prioritarias de conservación de la biodiversidad con enfoques regional, temático o sobre ecosistemas y especies de interés particular (Ceballos *et al.*, 2009; Koleff y Urquiza, 2011; March *et al.*, 2009); así como con otros objetivos: para servicios ambientales hidrológicos o captura de carbono; de protección de cuencas o de restauración de ecosistemas (Geneletti *et al.*, 2011; Semarnat, 2011).

Procedimiento propuesto para la selección de áreas prioritarias

La selección de áreas prioritarias para conservación y cualquier otro enfoque de priorización es un reto que implica resolver un problema de optimización, en el que las áreas seleccionadas deben ser las más viables en términos económicos, de recursos humanos y de infraestructura para establecer los programas y estrategias requeridas para su permanencia y manejo (Sánchez *et al.*, 2008). Las etapas mínimas que deben considerarse se muestran en la Figura 1, y a continuación se describen.

Definición del objetivo de la priorización. Debe existir un propósito claro para la priorización (Galindo *et al.*, 2009; Martínez y Reyes, 2007; Semarnat, 2006). Se refiere al objetivo de conservación o enfoque que tendrán las áreas prioritarias, y puede ser tan específico como se desee; por

use of resources by selecting priority conservation areas. Some notable examples of prioritizing areas for conservation at the global level include biodiversity hotspots, endemic bird areas (EBA) and zero extinctions locations (Ceballos *et al.*, 2009; Koleff *et al.*, 2009).

In Mexico, since 1997 several initiatives sponsored by governmental and non-governmental institutions, national and international efforts have focused their research on identifying priority areas for biodiversity conservation at the national level regions (Arriaga *et al.*, 2009). In recent years there have been studies for the selection of priority areas for biodiversity conservation with regional, thematic approaches or on ecosystems and species of particular interest (Ceballos *et al.*, 2009; Koleff and Urquiza, 2011; March *et al.*, 2009); as well as other objectives: for watershed services and carbon sequestration; watershed protection or restoration of ecosystems (Geneletti *et al.*, 2011; Semarnat, 2011).

Proposed procedure for the selection of priority areas

The selection of priority areas for conservation and other prioritization approach is a challenge that involves solving an optimization problem in which the selected areas should be the most viable in economic terms, human resources and infrastructure to establish programs and strategies required for their establishment and management (Sánchez *et al.*, 2008). The minimum stages to be considered are shown in Figure 1, and described below.

Defining the objective of prioritization. A clear purpose for prioritization must exist (Galindo *et al.*, 2009; Martínez and Reyes, 2007; Semarnat, 2006). It concerns the conservation objective or approach that the priority areas will have, and can be as specific as it is desired; *i.e.*, the conservation of a species or habitat, conservation of biodiversity, conservation and maintenance of carbon stocks, watershed management, forest management, restoration, reforestation, handling or protection of water resources, compensation or payment for environmental services, among others. The definition of the study area must be included.

Selection criteria. One criterion is the basis for a decision must be measurable and susceptible to assessment. It is the evidence upon which an individual can be assigned to a group of decisions (Eastman, 2006). The criteria depend on the pursued objective with the prioritization (Martínez and Reyes, 2007) and they are of biological, physical, socioeconomic or environmental order. For the identification of priority areas for biodiversity conservation areas, criteria such as population abundance, richness, diversity, rarity, endemism and species



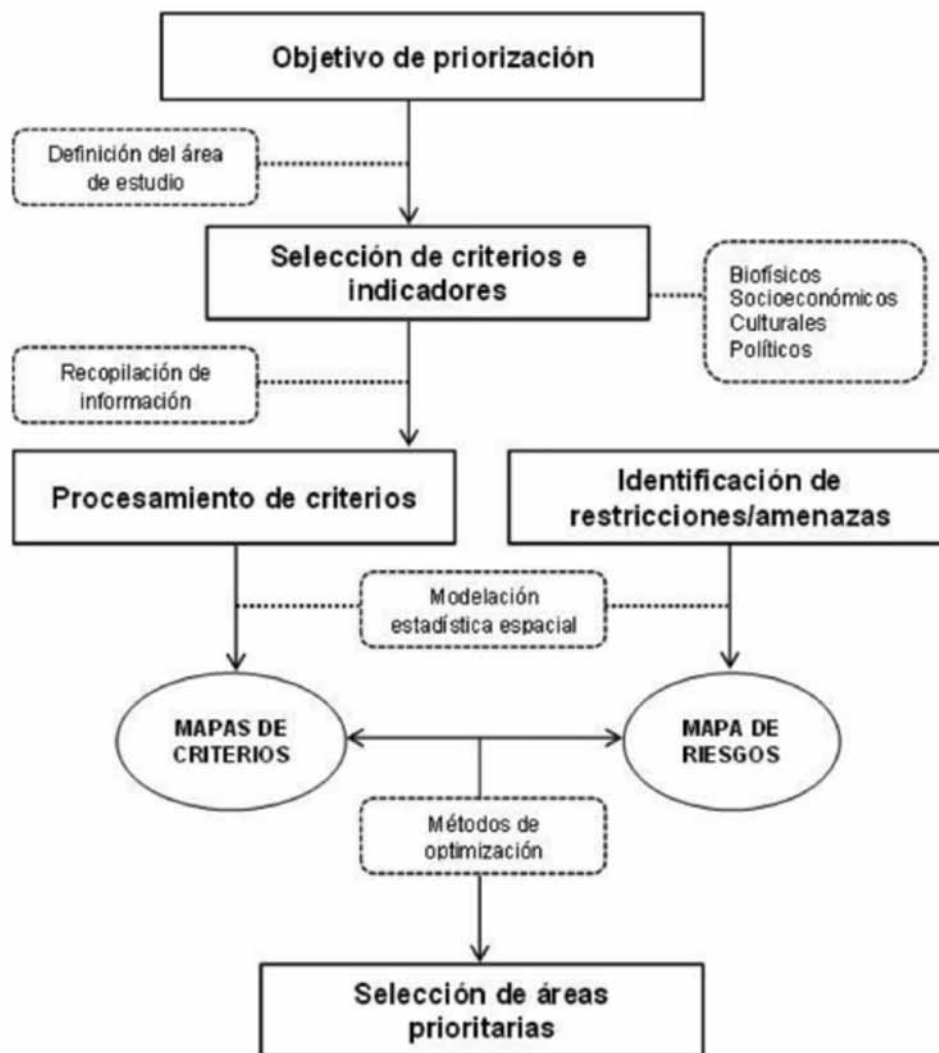


Figura 1. Proceso metodológico propuesto para identificar áreas prioritarias de conservación.
Figure 1. Methodological process proposed to identify priority conservation areas.

ejemplo, la conservación de una especie o hábitat específico, la conservación de la biodiversidad, la conservación y mantenimiento de reservas de carbono, el manejo de cuencas hidrográficas, el manejo forestal, la restauración, la reforestación, el manejo o protección del recurso hídrico, la compensación o pago de servicios ambientales, entre otros. Se tiene que incluir la definición del área de estudio.

Selección de criterios. Un criterio es la base para tomar una decisión, debe ser medible y susceptible de evaluarse. Es la evidencia sobre la cual puede asignarse un individuo a un grupo de decisiones (Eastman, 2006). Los criterios dependen del objetivo que se persigue con la priorización (Martínez y Reyes, 2007) y son de carácter biológico, físico, socioeconómico, ambiental. En el caso de la identificación de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, se usan criterios como la abundancia poblacional, la riqueza, diversidad, rareza, endemismos y vulnerabilidad de especies

vulnerability are used (Ceballos *et al.*, 2009; Iñena, 2008). It is also considered obtaining and compiling information for each of the criteria taken into account; the data must be spatially referenced (Semarnat, 2006).

Processing criteria. It is the stage in which the chosen criteria are analyzed and processed by statistical models of spatial analysis (suitability analysis, generalized linear models, classification and regression trees, Bayesian models) or matrixes in which each criterion is organized and weighted and are generated appropriate models to each study case which entirely depend on the objective of prioritization and the level of information obtained by criterion. The final result of this phase is to develop, separately, maps containing the already modeled criteria.

Identification of constraints (threats). It refers to the specific spatial information that limits or increases the priority of a given area. The information can be analyzed separately or considered as

(Ceballos *et al.*, 2009; Inrena, 2008). Asimismo, se considera la obtención y recopilación de información para cada uno de los criterios incluidos, cuyos datos deben ser referenciados espacialmente (Semarnat, 2006).

Procesamiento de criterios. Es la etapa en la cual se analizan y procesan los criterios elegidos mediante modelos estadísticos de análisis espacial (análisis de aptitud, modelos lineales generalizados, árboles de clasificación y regresión, modelos bayesianos) o de matrices en las que se organiza y pondera la importancia de cada criterio y se generan modelos propios para cada caso de estudio que dependen enteramente del objetivo de priorización y del nivel de información obtenida por criterio. El resultado final de esta fase es la elaboración por separado de mapas que contienen los criterios ya modelados.

Identificación de restricciones (amenazas). Se refiere a la información espacial específica que limita o aumenta la prioridad de un área determinada. La información puede analizarse por separado o considerarse como un criterio adicional; por ejemplo, vulnerabilidad de especies, riesgo de deforestación y de inundaciones. Incluye el uso de modelos probabilísticos que permiten la generación de escenarios futuros de dichas amenazas.

Selección de áreas prioritarias. Constituye el paso final para la identificación de las áreas que mejor cumplan el objetivo de priorización. Es muy importante hacer uso de los métodos de optimización, mediante los cuales se reconocen los lugares que contienen la mejor combinación de elementos de interés (criterios y restricciones) con un alto grado de confianza (Semarnat, 2006).

Metodologías para identificar áreas prioritarias

Las metodologías para identificar áreas prioritarias para la conservación tienen diferentes aproximaciones, desde las meramente intuitivas o cualitativas hasta las analíticas cuantitativas (Semarnat, 2006). La investigación se ha centrado, fundamentalmente, en el desarrollo de métodos y modelos cuantitativos específicos para la conservación de la biodiversidad (Ceballos *et al.*, 2009; March *et al.*, 2009; Razola *et al.*, 2006), considerada esta uno de los servicios ecosistémicos más importantes de proteger y que a la vez se conservan otros servicios ambientales relacionados.

Métodos cualitativos. Se basan en análisis simples y se definen, en gran medida, por el juicio de expertos. Desde el punto de vista histórico, estos métodos se han utilizado para la selección de áreas naturales protegidas y prioritarias (Semarnat, 2006); utilizan criterios como el valor escénico del paisaje, los usos recreativos, la presencia o ausencia de aprovechamientos forestales o la disponibilidad del terreno (Ceballos *et al.*, 2009; Conabio *et al.*, 2007; Koleff y Urquiza, 2011; Koleff *et al.*, 2009; Margules

an additional criterion; for example, vulnerability of species, deforestation risk and flood. It includes the use of probabilistic models to generate future scenarios of such threats.

Selection of priority areas. It is the final step in detecting areas that best meet the objective of prioritization. It is very important to use optimization methods by which sites containing the best combination of elements of interest (criteria and constraints) with a high degree of confidence are identified (Semarnat, 2006).

Methodologies for identifying priority areas

The methodologies for identifying priority areas for conservation have different approaches, from purely intuitive or qualitative to quantitative analytical (Semarnat, 2006). Research has focused primarily on the development of specific methods and quantitative models for the conservation of biodiversity (Ceballos *et al.*, 2009; March *et al.*, 2009; Razola *et al.*, 2006), which considered it as one of the most important to protect ecosystem services simultaneously and related environmental services are preserved.

Qualitative methods. They are based on simple analysis and are defined largely by expert judgment. From the historical point of view, these methods have been used for the selection of protected and priority areas (Semarnat, 2006) by following criteria such as the scenic value of the landscape, recreational uses, the presence or absence of forest use or availability of land (Ceballos *et al.*, 2009; Conabio *et al.*, 2007; Koleff and Urquiza, 2011; Koleff *et al.*, 2009; Margules *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2008). These methods are considered simple, fast, easy to implement and inexpensive compared to the quantitative ones. However, given the subjective nature that each expert uses to define areas, the results can become unrepeatable and inconsistent (Semarnat, 2006). Furthermore, they have great uncertainty and high error margin in the delimitations of the priority areas. Therefore, in the current environmental crisis and the need to achieve greater accuracy in studies, it is essential that the priority areas are identified through more accurate and quantitative methods (Sánchez *et al.*, 2008); therefore, in this review further analysis of qualitative methodologies is obviated.

Quantitative methods. They reduce uncertainty and inconsistency of results by using different statistical approaches; it is also feasible to perform quantitative analysis of biophysical information of the area of interest. With the support of spatial statistics, predictive models of phenomena at different spatial and temporal scales can be generated (Semarnat, 2006). Thus, a basic feature of quantitative methods is the use of statistical spatial and optimization models for processing their criteria, even though they also integrate into their methodological process qualitative techniques such as conducting local and regional workshops, surveys; and consulting experts, among others.

et al., 2002; Sánchez *et al.*, 2008). Estos métodos se consideran simples, rápidos, fáciles de aplicar y de costo bajo en comparación con los de tipo cuantitativo. Sin embargo, dado el carácter subjetivo que cada experto utiliza para la definición de las áreas, los resultados pueden volverse irrepetibles e inconsistentes (Semarnat, 2006). Además, presentan gran incertidumbre y un margen de error elevado en las delimitaciones de las áreas prioritarias. Por lo tanto, ante la crisis ambiental actual y la necesidad de alcanzar una mayor precisión en los estudios, es indispensable que las áreas prioritarias sean identificadas a través de métodos más exactos o cuantitativos (Sánchez *et al.*, 2008); por ello, en la presente revisión se soslaya el análisis de las metodologías cualitativas.

Métodos cuantitativos. Reducen la incertidumbre y la inconsistencia de los resultados mediante diferentes aproximaciones estadísticas; además es factible ejecutar análisis cuantitativos de la información biofísica del área de interés. Con el apoyo de la estadística espacial se pueden generar modelos predictivos de los fenómenos, a diferentes escalas espacio-temporales (Semarnat, 2006). De esta manera, una característica básica de los métodos cuantitativos es la utilización de modelos espaciales estadísticos y de optimización para el procesamiento de sus criterios, aunque también integran en su proceso metodológico técnicas cualitativas como la realización de talleres locales y regionales, la aplicación de encuestas; y la consulta a expertos, entre otros.

El Cuadro 1 muestra una recopilación de diferentes metodologías cuantitativas, de acuerdo a una revisión de literatura, y técnicas espaciales utilizadas como herramientas metodológicas. Las primeras se caracterizan por ser muy específicas para investigaciones de conservación de la biodiversidad e incorporan en sus procesos diversos modelos computarizados de métodos de optimización y análisis estadístico espacial. Las segundas son técnicas más generales que permiten identificar áreas prioritarias con enfoques diferentes al de la conservación y son integradas en programas de sistemas de información geográfica. Para cada metodología y técnica se presenta el objetivo de priorización, la descripción, el tipo de criterios utilizados, sus ventajas y desventajas y las referencias consultadas.

Table 1 shows a compilation of different quantitative methodologies, according to a literature review, and spatial techniques used as methodological tools. The first are very specific for biodiversity conservation investigations and include into their processes various computer models of optimization methods and spatial statistical analysis. The second are more general techniques to identify priority areas with different approaches to that of conservation and are integrated into GIS programs. For each methodology and technique is shown its aim to prioritize, description, type of criteria used, their advantages and disadvantages and the references consulted.

Election of the methodology

The election or definition of a particular methodology to identify priority areas may become complex because it will depend on the specific aim of the prioritization of the selected criteria and of the available information for their analysis, as well as of the used scale, which usually is different for each case study. Nevertheless, there are basic elements that must be considered at the time of selecting the priority areas for conservation.

In this sense, Ceballos *et al.* (2009), Margules *et al.* (2002), Pressey and Taffs (2001) suggest to understand and analyze two concepts: vulnerability (probability or imminence of destruction or alteration of natural vegetation), and the oneness or irreplaceability (improbability that a candidate area to accomplish an objective of conservation is satisfactorily replaced by another).

If this two concepts and the analysis of threatens or restrictions is considered that they increase or limit the priority of a particular area, then the methodologies listed in Table 1 section (a), the corresponding to the Eco-regional Planning, the Gap Analysis and the REDD+ Methodology, satisfy these elements, since they take into account in their analysis, the identification of the threatens to the elements objective of conservation.

To define which of these methodologies to use, it is necessary to emphasize that the Analysis of Voids is a process that determines which elements are not represented or not enough in a network of conservation areas that already exists and, therefore, new areas are found; thus, it can be applied before any study, as, for example, an eco-regional planning (Groves *et al.*, 2000) or combined with other methods (Rentería *et al.*, 2011).

Eco-regional Planning is a methodology focused on the systematic conservation and based upon scientific knowledge of biodiversity in terrestrial, fresh water, coast and sea environments (Kappelle, 2007); therefore, its application to conservation of other ecosystemic services must be analyzed in detail and to consider if with the pertinent adjustments it is useful. For these cases



Cuadro 1. Metodologías generales para la selección de áreas prioritarias de conservación de ecosistemas.

Nombre del método	Objetivo de priorización	Descripción de la metodología	Criterios utilizados	Ventajas	Desventajas	Referencias
(a) Metodologías cuantitativas utilizadas para la identificación de áreas prioritarias						
Planificación Ecorregional (Diseño para la Conservación de The Nature Conservancy)	Conservación de la diversidad de especies, comunidades y sistemas ecológicos	Se pone énfasis en la conservación de la totalidad de comunidades y ecosistemas (no solo aquellos que son raros), en la conservación a escalas geográficas y niveles de organización biológica múltiples y en el reconocimiento del valor de la planificación biológica completa basada en límites ecorregionales y no geopolíticos.	Ecológicos Biofísicos Sociales Económicos Políticos	Utilizado para grandes espacios geográficos y para todo tipo de ecosistemas. Incluye la identificación de amenazas y el establecimiento de estrategias para conservación. Metodología sistemática, eficiente, repetible y participativa.	Requiere disponibilidad de información georreferenciada de calidad para grandes espacios geográficos. Necesita del conocimiento y guía de expertos en diferentes áreas temáticas Costoso para aplicación a nivel regional, local o para priorizar un solo servicio ecosistémico.	Arrivillaga y Windevoxhel, 2008; Galindo <i>et al.</i> , 2009; Groves <i>et al.</i> , 2000; Kappelle, 2007; Loos, 2011; Pronatura y TNC, 2007.
Metodología del Ordenamiento Ecológico del Territorio	Conservación de la biodiversidad	Se usan criterios biológicos, estadísticos y técnicos estandarizados para determinar las áreas prioritarias para la conservación de la diversidad biológica. Utilizan métodos de modelación estadísticas, SIG y modelos de optimización; se considera la aproximación más conveniente en el contexto del ordenamiento ecológico de una región.	Ecológicos Biofísicos Sociales Económicos	El uso de modelos probabilísticos permite el análisis a escala regional, basada en muestreos a escala local Se reduce la incertidumbre e inconsistencia de los resultados Realza el análisis de conflictos de usos del territorio	Para poder realizar los análisis y la modelación estadística, se requiere un nivel adecuado (suficiente) de información ecológica y biológica de los elementos a conservar. No incluye el análisis de amenazas como tal, aunque estas pueden ser parte de las restricciones en los modelos de optimización. Da prioridad a los límites político-administrativos del territorio.	Semarnat, 2006.
Análisis de vacíos	Conservación de la biodiversidad	Proceso en el cual se identifica y examina la presencia de la biodiversidad en un sistema de áreas protegidas para determinar cuáles elementos no están representados, o lo están de manera insuficiente y en qué áreas protegidas se encuentran. Posteriormente, esta información es utilizada para identificar áreas prioritarias o designar nuevas áreas que requieran acciones de conservación. Es considerado como la principal herramienta para el establecimiento de prioridades en la planificación de áreas protegidas.	Biofísicos Sociales Económicos Conservación	Incluye amenazas Evita traslapes de conservación de áreas Modelos de distribución de especies. Valiosa fuente de información para otros estudios más detallados o específicos Asigna valores de protección a los sitios de conservación Incluye propiedad o tenencia de la tierra.	Requiere la información de la red de áreas de conservación ya existente. La escala utilizada debe ser similar a la de las áreas de conservación vigentes. Los límites del análisis coinciden con los límites de las áreas actuales (nivel estatal). Solo representación (distribución) del elemento de interés, no viabilidad del mismo (calidad del hábitat, abundancia de la especie, tendencia de la población, etcétera). Demanda validación de campo para la distribución modelada de especies.	Conabio <i>et al.</i> , 2007; Groves <i>et al.</i> , 2000; Jennings, 2000; Koleff y Urquiza, 2011; Koleff <i>et al.</i> , 2009; Rentería <i>et al.</i> , 2011.

Continúa Cuadro 1...

Continuación Cuadro 1...

REDD+	Conservación de áreas forestales	Metodologías que permiten priorizar áreas para la implementación de proyectos REDD, basadas en el análisis de las distintas variables que permiten la cuantificación de los múltiples beneficios de los bosques, incluyendo su vulnerabilidad a ser destruidos o convertidos a otros usos.	Biofísicos Sociales Económicos Ambientales Institucionales Legales	Aplicable a escalas nacional, regional y local. Incluye la modelación de escenarios de provisión de servicios y de sus amenazas. Aplicable a la conservación de los beneficios por separado o en conjunto de las áreas forestales.	Requiere disponibilidad de información georreferenciada, detallada y de calidad para los diferentes niveles de escala. Requiere el conocimiento y guía de expertos en diferentes áreas temáticas.	Bertzky <i>et al.</i> , 2011; Harris <i>et al.</i> , 2008; Parker <i>et al.</i> , 2009; Semarnat, 2010.
(b) Técnicas espaciales utilizadas como herramientas metodológicas en la identificación de áreas prioritarias						
Análisis multicriterio (EMC)	Manejo del recurso hídrico. Priorización de cuencas. Focalización de apoyos	Conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. Su fin básico es investigar un número de alternativas de decisión bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto, lo cual hace posible generar soluciones compromiso y jerarquizar las alternativas de acuerdo al objetivo planteado.	Biofísicos Sociales Económicos Productivos	Permite utilizar y combinar un sinnúmero de criterios e indicadores, para cualquier objetivo de priorización que se desee. Permite el estudio a cualquier escala, unidades de medida y límites territoriales. Se reduce la incertidumbre e inconsistencia de los resultados.	Más enfocado a los análisis de aptitud. No incluye el análisis a detalle de amenazas, restricciones o riesgos. Los procesos pueden ser técnicamente complejos, que requieran el apoyo de expertos. Riesgo de que pueda ser utilizado de manera indiscriminada.	Gómez y Barredo, 2006; Sánchez <i>et al.</i> , 2004; Semarnat, 2011.
Álgebra de mapas	Pago de servicios hidrológicos. Compensación de servicios ecosistémicos. Desarrollo forestal. Manejo de cuencas. Restauración y reforestación.	Es la combinación matemática de las capas de los mapas, mediante tres tipos de operaciones básicas: modificación de los valores de los datos de atributo por medio de una constante, transformación de los valores por una operación estándar y combinación de capas diferentes de datos para producir un resultado compuesto.	Biofísicos Biológicos Biogeo-gráficos Sociales Económicos Ambientales	No requiere información especializada ni detallada. Aplicable a cualquier objetivo de priorización que se desee. Estudios a diferentes escalas y límites territoriales.	Análisis cuantitativos simples. Carácter subjetivo en el análisis de los criterios. Gran incertidumbre y margen de error elevado. Resultados irrepetibles e inconsistentes.	Benegas y León, 2009; Eastman, 2006; Escalante, 2003; Fonseca <i>et al.</i> , 2011; Vargas <i>et al.</i> , 2009.



Table 1. General methodologies for the selection of priority areas for conservation of ecosystems.

Name of the method	Aim of prioritization	Description of the methodology	Used criteria	Advantages	Disadvantages	References
(a) Quantitative methodologies used to identify priority areas						
Eco-regional planning (Design for The Nature Conservancy)	Conservation of the diversity of species, communities and ecological systems	Emphasis is put in the conservation of all the communities and ecosystems (not only the rare ones), in the conservation at geographical scales and multiple biological organization levels and the acknowledgement of the value of the whole biological planning based upon eco-regional and non - geopolitical	Ecological Biophysical Social Economic Political	It is used for great geographical spaces and for all kinds of ecosystems. It includes the identification of threatens and the establishment of strategies for conservation. Systematic, efficient, replicable and participative methodology.	It requires availability of qualified and georeferenced information for great geographic spaces. It demands the knowledge and guidance of experts in different topics. Expensive to be applied at a local or regional level, or to prioritize one single ecosystemic service.	Arrivillaga and Windevoxhel, 2008; Galindo <i>et al.</i> , 2009; Groves <i>et al.</i> , 2000; Kappelle, 2007; Loos, 2011; Pronatura and TNC, 2007.
Methodology for the Ecological Land Ordination	Conservation of biodiversity	Standard biological, statistical and technical criteria are used to determine the priority areas for the conservation of biological diversity. GIS statistical methods and optimization models are used; it is considered the most convenient approach in the ecological ordination of a region.	Ecological Biophysical Social Economic	The use of probabilistic models allows analysis at a regional scale, based on samplings at a local scale. It reduces uncertainty and inconsistency of results. It highlights the analysis of land use conflicts.	In order to make the analysis and the statistical modeling a good level of ecological and biological information of the elements to be conserved is necessary. It includes the analysis of threatens as such, even though they can be part of the limitations in the optimization models. It prioritizes the political-land administration limits.	Semarnat, 2006.
Gap Analysis	Conservation of biodiversity	Process in which the presence of biodiversity in a protected areas system is identified and examined to determine which elements are not represented, or are in a partial way and in which protected areas they are. Later, this information is used to identify priority areas or to appoint new areas that demand conservation actions. It is considered as the main tool for the establishment of priorities in protected area planning.	Biophysical Social Economic Conservation	It includes threatens. It avoids conservation areas overlaps. Model of species distribution. Worthy source of information for more developed or specific studies. It appoints protection values to conservation sites. It includes properties of the land.	It needs information from the conservation areas network that already exists. The used scale must be similar to that of the conservation areas at present. The limits of the analysis agree with those of the actual areas (state level). Only representation (distribution) of the object of interest, not of its viability (quality of habitat, species abundance, trend of the population, etc.). It demands field validation for the modeled distribution of the species.	Conabio <i>et al.</i> , 2007; Groves <i>et al.</i> , 2000; Jennings, 2000; Koleff and Urquiza, 2011; Koleff <i>et al.</i> , 2009; Rentería <i>et al.</i> , 2011.

Continúa Table 1...

Continuación Table 1...

Name of the method	Aim of prioritization	Description of the methodology	Used criteria	Advantages	Disadvantages	References
REDD+ (Reduction of the emissions that come from Deforestation and Forest Degradation)	Conservation of forest areas	Methodologies that allow to prioritize areas for the implementation of REDD projects, based upon the analysis of the different variables that allow the quantification of the multiple benefits of forests, including their vulnerability to be destroyed or transformed for other land use.	Biophysical Social Economic Environmental Institutional Legal	Applicable at national, regional and local scales. It includes the modeling of scenarios of service provision and threatens. Applicable to the conservation of benefits alone or together with the forest areas.	It demands availability of georeferenced, detailed and qualified information for the different scale levels. It demands the knowledge and guide of experts in different topics.	Bertzky <i>et al.</i> , 2011; Harris <i>et al.</i> , 2008; Parker <i>et al.</i> , 2009; Semarnat, 2010.
(b) Spatial techniques used as methodological tools in the identification of priority areas						
Multicriteria Analysis (EMC)	Management of the water resource. Basin prioritization. Support focus.	Group of techniques oriented to support the decision taking processes. Its final ending is to find out various options under the light of multiple criteria and aims in conflict, which favors the generation of committed solutions and to rank the alternatives according to the stated objective.	Biophysical Social Economic Productive	It allows to use and combine a good number of criteria and indicators for any objective of prioritization. It allow the study at any scales, measurement units and land limits. Uncertainty and inconsistency of results are reduced.	More focused on fitness analysis. It does not include the detailed analysis of threatens, restrictions and risks. The processes may be technically complex, that demands the support of experts. There is risk that it might be used in an indiscriminate way.	Gómez and Barredo, 2006; Sánchez <i>et al.</i> , 2004; Semarnat, 2011.
Map algebra	Payment of hydrological services. Compensation of ecosystemic services. Forest development. Basin management. Restoration and reforestation	It is the mathematical combination of the layers of the maps, by three kinds of basic operations: modification of the values of the attribute by a constant, transformation of the values by a standard operation and a combination of layers of different data to produce a compound result.	Biophysical Biological Biogeographical Social Economic Environmental	It does not require specialized or detailed information Applicable to any wanted objective of prioritization. Studies of different scales and limits, territoriales.	Simple quantitative analysis. Subjective viewpoint in the analysis of criteria. Great uncertainty and high margin of error. Irreplicable and inconsistent results.	Benegas and León, 2009; Eastman, 2006; Escalante, 2003; Fonseca <i>et al.</i> , 2011; Vargas <i>et al.</i> , 2009.

Elección de la metodología

La elección o definición de una metodología en particular para identificar áreas prioritarias puede resultar compleja porque dependerá del objetivo específico de priorización, de los criterios seleccionados e información disponible para su análisis, así como de la escala usada, lo que suele ser diferente para cada caso de estudio. No obstante, existen elementos básicos que deben considerarse al momento de seleccionar áreas prioritarias para conservación.

it is advisable the REDD+ methodology as it adds the analysis of the multiple ecosystemic services in a socioeconomic context, and at a local, regional or national scale, even though its procedure is limited to terrestrial environments (Table 1).

The methodology proposed for the Ecological Land Ordination (Mexico) is a procedure in which the threatens analysis is not treated in detail, as only part of the limitations for land use are considered; in addition, conservation is restricted to the political and administrative limits of the area. In spite of it, it is an advisable method to identify priority areas with the biodiversity conservation focus, since it proposes the use of

En este sentido, Ceballos *et al.* (2009), Margules *et al.* (2002), Pressey y Taffs (2001) sugieren que entender y analizar dos conceptos: la vulnerabilidad (probabilidad o inminencia de destrucción o alteración de vegetación natural), y la unicidad o irremplazabilidad (improbabilidad de que un área candidata para lograr un objetivo de conservación sea reemplazada satisfactoriamente por otra).

Si se consideran estos dos conceptos y el análisis de las amenazas o restricciones que aumentan o limitan la prioridad de un área determinada, entonces de las metodologías que se anotan en el Cuadro 1 sección (a), las correspondientes a la Planificación Ecorregional, el Análisis de Vacíos y la Metodología REDD+ cumplen con esos elementos, ya que toman en cuenta en sus análisis la identificación de amenazas a los elementos objetivo de conservación.

Para definir cuál de estas metodologías utilizar, es necesario enfatizar que el Análisis de Vacíos es un proceso que determina los elementos que están ausentes, o bien representados de manera insuficiente en una red de áreas de conservación ya existente, y con base en ello se identifican nuevas áreas; por lo que se puede aplicar antes de cualquier otro estudio; por ejemplo, una planificación ecorregional (Groves *et al.*, 2000) o en combinación con otros métodos (Rentería *et al.*, 2011).

La Planificación Ecorregional es una metodología enfocada a la conservación sistemática y con una base de conocimiento científico de la biodiversidad en ambientes terrestres, de agua dulce, costeros y marinos (Kappelle, 2007); por lo tanto su aplicación a la conservación de otros servicios ecosistémicos debe analizarse detalladamente y considerar, si con las adecuaciones pertinentes es útil. Para estos casos, es más recomendable la metodología REDD+, ya que suma el análisis de los múltiples servicios ecosistémicos en un contexto socioeconómico y a escalas nacional, regional o local; aunque su procedimiento está limitado a los ambientes terrestres (Cuadro 1).

La metodología propuesta para el Ordenamiento Ecológico del Territorio (México) es un procedimiento en el cual no se detalla el análisis de amenazas, solo se consideran parte de las restricciones de usos del territorio; además la conservación se restringe a los límites político-administrativos de la superficie en cuestión. Pese a lo anterior es un método recomendable para la identificación de áreas prioritarias con el enfoque de conservación de la biodiversidad, ya que propone el uso de diferentes análisis estadísticos espaciales que reducen la incertidumbre e inconsistencias de los resultados.

Una limitación generalizada de las metodologías cuantitativas descritas (Cuadro 1), son las restricciones inherentes al uso de técnicas de optimización, cuya aplicación y empleo dependen del conocimiento del usuario, del objetivo específico de priorización y de la cantidad, calidad y disponibilidad de criterios y datos

different spatial statistical analysis that reduce uncertainty and inconsistency of results.

A generalized limitation of the quantitative methodologies described in Table 1 are the restrictions proper of the use of optimization techniques, whose application and use depend on the knowledge of the user, the specific aim of prioritization and the amount, quality and availability of criteria and data (Blumentrath, 2011).

In respect to the research and development of methodologies for the specific case of forest restoration are rather scarce (Geneletti *et al.*, 2011); thus, in the actual review are integrated the Multicriteria Analysis and the Map Algebra (Table 1).

The Multicriteria Analysis is a useful tool in decision making, since it allows to select, analyze and combine a great number of criteria and indicators to generate options of hierarchized solutions, according to the determined objective. The quantitative analysis of the data reduces the uncertainty and inconsistency of the results. One important weakness is due to the fact that it incorporates the opinion of experts or interested persons in the topic, who appoint weights to the criteria that indicate their relative importance, which inputs subjectivity to the method (Dykstra, 1984). Another weak point is not to include a detailed analysis of threats or restrictions, which is essential to give the priority category to a particular area, and thus its use could be more convenient to identify potential or optimal area. In case of using it, it must be considered just as an optimization method, which, combined with other statistical analysis procedures, help to get a correct definition of a priority area.

The Map Algebra is more frequently used to identify priority areas; it is the most simple technique, it makes simple quantitative analysis and, in many cases, of subjective kind; its results generate great uncertainty and a high margin of error. Map Algebra is considered as the final analysis instrument of any process, that counts with a previous quantitative analysis and is adjusted to the criteria, indicators, threats or restrictions, or its use must be replaced by optimization methods.

In short, it is assumed that the Eco-regional Planning method is the most suitable to be used in great geographical areas, and with multiple prioritization objectives, which makes it rather expensive, from the amount and quality of information it demands, but it is the most complete, efficient and replicable in all ecosystems (water or land). the REDD+ Methodology and the Ecological Land Ordination one adapt to the local, regional and national scales with aims of specific prioritization and with detailed spatial information requirements, which also makes them expensive, if they are applied in very wide geographic extensions, but with the possibility to use them in smaller spaces according to the stated conservation objectives. The Gap Analysis is totally advisable when it is necessary to assess

Respecto a la investigación y desarrollo de metodologías para el caso específico de la restauración forestal son relativamente escasos (Geneletti *et al.*, 2011); por lo anterior, en la presente revisión se integran el Análisis Multicriterio y el Álgebra de Mapas (Cuadro 1).

El Análisis Multicriterio es una herramienta útil en la toma de decisiones, ya que permite seleccionar, analizar y combinar un sinnúmero de criterios e indicadores para generar alternativas de solución jerarquizadas, de acuerdo al objetivo planteado. El análisis cuantitativo de los datos disminuye la incertidumbre e inconsistencia de los resultados. Una debilidad importante se debe a que incorpora la opinión de expertos o personas interesadas en el tema, quienes asignan pesos o ponderaciones a los criterios que indicarán la importancia relativa entre los mismos, lo que introduce subjetividad al método (Dykstra, 1984). Otro punto débil es la no inclusión de un análisis detallado de las amenazas o restricciones, el cual es indispensable para otorgar la categoría de prioritaria a un área determinada, por lo que su uso podría ser más adecuado para la identificación de áreas potenciales y óptimas. En caso de utilizarla, debe considerarse solo como un método de optimización, que combinado con otros procedimientos de análisis estadístico coadyuvan a la correcta definición de un área prioritaria.

El Álgebra de Mapas se utiliza con más frecuencia para la identificación de áreas prioritarias, también es la técnica más sencilla, realiza análisis cuantitativos simples y en muchos casos de carácter subjetivo; sus resultados llegan a presentar gran incertidumbre y un elevado margen de error. Se considera que el Álgebra de Mapas debe considerarse como el instrumento final de análisis de cualquier proceso, que cuente con un análisis cuantitativo previo y adecuado a los criterios, indicadores, amenazas o restricciones; o bien su empleo tiene que sustituirse por métodos de optimización.

En suma, se considera que la metodología de Planificación Ecorregional es la más adecuada para aplicarse en grandes espacios geográficos y con multiplicidad de objetivos de priorización, por lo que su aplicación puede resultar costosa, a partir de la cantidad y calidad de información que requiere, pero es la más completa, eficiente y repetible en todo tipo de ecosistemas (terrestres, acuáticos). La metodología REDD+ y la del Ordenamiento Ecológico del Territorio se adaptan a escalas nacional, regional y local, con objetivos de priorización específicos y con requerimientos de información espacial detallada, lo que también las convierte en caras, si son aplicadas en extensiones geográficas muy amplias, pero con la posibilidad de utilizarlas en espacios más pequeños en función de los objetivos de conservación planteados. La metodología de Análisis de Vacíos es totalmente recomendable cuando se desea evaluar y mejorar el sistema de áreas naturales protegidas de un determinado lugar, su combinación con otros métodos arroja excelentes resultados para la identificación de espacios prioritarios no considerados en un sistema de conservación ya establecido.

and improve the natural protected areas system of a particular place, its combination with other methods brings excellent results for the identification of priority spaces not considered in a conservation system already established.

The combination of the spatial techniques of the Multicriteria Analysis and Map Algebra with other spatial statistical analysis models and optimization methods make a more complete, efficient and economic methodology to apply at a local and regional scale; given that with it it is possible to carry out separately technical combinations for the analysis of criteria and threatens, through the fit of existent information or its generation at the level that is needed, according to the availability of human and financial resources and that they cover the minimum stages proposed as basic for the identification of priority areas.

Conclusions

The identification of priority areas is an initial stage in the design of public policies for the investment of financial resources in the implementation of management and conservation strategies for natural resources. The approaches to the priority areas are so diverse as the reasons for their selection; therefore, the definition of the aim of prioritization becomes essential and must be the first step to a methodological process. The selection and processing of the criteria depend on this prioritization objective and may be as wide as the availability of spatial data allow. The identification and analysis of limitations, risks or threatens of the area or object of interest for conservation makes the difference between determining a priority area or define it at the suitable or potential level. Thus, the election or development of a specific methodology will depend from the prioritization objective, from the scale at which it will be worked and the availability of information, human and financial resources for its accomplishment. It is important to highlight that the most desirable are the quantitative methodologies that use spatial statistical modeling and the application of optimization methods. 



La combinación de las técnicas espaciales de Análisis Multicriterio y Álgebra de Mapas, con otros modelos de análisis estadístico espacial y métodos de optimización constituyen la metodología más completa, eficiente y económica para aplicarse a escalas regional y local; dado que con ella es factible llevar a cabo combinaciones de técnicas para los análisis por separado de criterios y amenazas, mediante el ajuste de la información existente o su generación al nivel que se necesite, de acuerdo a la disponibilidad de recursos humanos, financieros; y que cubran las etapas mínimas propuestas como básicas para la identificación de áreas prioritarias.

Conclusiones

La identificación de áreas prioritarias corresponde a una etapa inicial en el diseño de políticas públicas para la inversión de recursos financieros en la implementación de estrategias de manejo y conservación de recursos naturales. Los enfoques de las áreas prioritarias son tan diversos como las razones para su selección; por tanto, la definición del objetivo de priorización se torna fundamental y debe ser el primer paso del proceso metodológico. La selección y procesamiento de los criterios dependen de este objetivo de priorización y pueden ser tan amplio como la accesibilidad a los datos espaciales lo permita. La identificación y análisis de restricciones, riesgos o amenazas del área u objeto de interés por conservar hace la diferencia entre determinar un área prioritaria o definirla al nivel de apta o potencial. Debido a ello, la elección o desarrollo de una metodología específica dependerá del objetivo de priorización, de la escala en que se desea trabajar y de la disponibilidad de información, recursos humanos y financieros para su realización. Es importante resaltar que las más deseables son las metodologías cuantitativas que utilizan la modelación estadística espacial y la aplicación de métodos de optimización. 

Agradecimientos

A la Línea Prioritaria de Investigación LPI-1 Manejo Sustentable de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, por el financiamiento otorgado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribuciones por Autor

Honorio Chávez González: revisión de literatura; análisis de la metodología, escritura y corrección; Manuel de Jesús Guillén: concepción, planeación, estructura, revisión del documento y gestión del recurso; Patricia Hernández de la Rosa: asesoría, gestión de recursos, estructura y revisión del documento.



Acknowledgements

To the Natural Resources Sustainable Management Research Priority LPI-1 Line of the *Colegio de Postgraduados*, for its financial support.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contributions by Author

Honorio Chávez González: Review of literature, analysis of methodologies, writing and correction of the document; Manuel de Jesús González Guillén: idea, planning, structure and review of the document and financial resources negotiation; Patricia Hernández de la Rosa: advice, financial resources negotiation, structure and review of the document.

End of the English version



Referencias

- Arriaga C., L. J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coords.). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tacerca.html>. (1 de febrero de 2013).
- Arriaga C., L. V. Aguilar y J. M. Espinoza. 2009. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. In: Sarukhán, J. (coord.). Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, D.F., México. pp. 433-457.
- Arrivillaga, A. y N. Windevoxhel. 2008. Evaluación ecorregional del arrecife mesoamericano: Plan de conservación marina. The Nature Conservancy, Guatemala, Guatemala. 30 p. + Anexos.
- Benegas, L. y J. León. 2009. Criterios para priorizar áreas de intervención en cuencas hidrográficas: La experiencia del programa Focuecas II. Serie Técnica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico No. 378. 52 p.
- Bertzky, M., C. Ravilious, A. L. Araujo N., V. Kapos, D. Carrión, M. Chiu y B. Dickson. 2011. Carbono, biodiversidad y servicios ecosistémicos: Explorando los beneficios múltiples. Ecuador. United Nations Environment Programme-World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). Cambridge, UK. 24 p.
- Bustillos H., J. A., J. R. Valdez L., A. Aldrete y M. J. González G. 2007. Aptitud de terrenos para plantaciones de eucalipto: Definición mediante el proceso de análisis jerarquizado y SIG. Agrociencia 41 (7): 787-796.
- Blumentrath, S. 2011. Site prioritization models and their suitability for assessing and designing policy mixes for biodiversity conservation and ecosystem services provision: A comparison of software packages. Technical briefs, Issue No. 4. <http://policymix.nina.no/Publications/Technicalbriefs.aspx>. (7 de febrero de 2013).
- Ceballos, G., E. Díaz P., H. Espinoza, O. Flores V., A. García, L. Martínez, E. Martínez M., A. Navarro, L. Ochoa, I. Salazar y G. Santos B. 2009. Zonas críticas y de alto riesgo para la conservación de la biodiversidad de México. In: Sarukhán, J. (coord.). Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, D.F., México. pp. 575-600.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio)- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp)-The Nature Conservancy (TNC)-Pronatura-Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León (FCF-UANL). 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: Espacios y especies. Talleres Gráficos de México, México, D.F., México. 128 p.
- Dijkstra, D. P. 1984. Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill Book Company. New York, NY, USA. 309 p.
- Eastman, J. R. 2006. IDRISI Andes. Guide to GIS and image processing. Clark University Worcester. Main St. Worcester, MA, USA. 328 p.
- Escalante E., T. 2003. Determinación de prioridades en las áreas de conservación para los mamíferos terrestres de México, empleando criterios biogeográficos. Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología 74 (2):211-237.
- Fonseca G., W., H. Chaves K., F. Alice G., y J. M. Rey B. 2011. Cambios en la cobertura del suelo y áreas prioritarias para la restauración forestal en el Caribe de Costa Rica. Comunicación Técnica Recursos Naturales y Ambiente 59-60: 99-107.
- Fuenzalida D., M., R. Figueroa S. y J. Negrete S. 2013. Evaluación de la aptitud territorial para el turismo de naturaleza y rural. Reserva de la Biosfera La Campana-Lago Peñuelas, Chile. Estudios y Perspectivas en Turismo 22: 120-137.
- Galindo, G., D. Marcelo, N. R. Bernal, L. K. Vergara y J. C. Betancourt. 2009. Planificación ecorregional para la conservación de la biodiversidad en el Caribe Continental Colombiano. Serie Planificación Ecorregional para la Conservación de la Biodiversidad No. 1. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Agencia Nacional de Hidrocarburos, The Nature Conservancy e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia. 24 p.
- Geneletti, D., F. Orsi, E. Lanni y A. C. Newton. 2011. Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques secos. In: Newton, A. C. y Tejedor, N. (eds). Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) y Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas. Gland, Suiza. pp. 289-326.
- Gómez, D. M., y J. I. Barredo C. 2006. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. 2ª edición. Alfaomega, México, D.F., México. 279 p.
- Gómez, B. E. y R. de Groot. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. Ecosistemas 16 (3): 4-14.
- González G., M. J., J. R. Valdez L. y C. Velasco G. 1996. Definición de áreas forestales con potencialidad recreativa. Agrociencia 30 (1): 129-138.
- Groves, C., L. Valutis, D. Vosick, B. Neely, K. Wheaton, J. Touval y B. Runnels. 2000. Diseño de una geografía de la Esperanza: Manual para la planificación de la conservación ecorregional. <http://www.conservationgateway.org/ConservationPlanning/SettingPriorities/EcoregionalReports/Documents/ManualPlanificacionConservacionEcorregional.pdf>. (4 de enero de 2014).
- Harris, N. L., S. Petrova, F. Stolle and S. Brown. 2008. Identifying optimal areas for REDD intervention: East Kalimantan, Indonesia as a case study. Environmental Research Letters 3 (3) 035006 DOI:10.1088/1748-9326/3/2/035006.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (Inrena). 2008. Caja de herramientas para la gestión de áreas de conservación. Fascículo 2: ¿Cómo seleccionar áreas para conservación? Lima, Perú. 101 p.
- Jennings, M. D. 2000. Gap analysis: Concepts, methods, and recent results. Landscape Ecology 15: 5-20.
- Kappelle, M. (coord.). 2007. Estándares para la planificación ecorregional: Lecciones aprendidas del Programa Parques en Peligro en América Latina y el Caribe. The Nature Conservancy. San José, Costa Rica. 20 p.
- Koleff, P., M. Tambutti, I. J. March, R. Esquivel, C. Cantú y A. Lira N. 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México. In: Sarukhán, J. (coord.). Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, D.F., México. pp. 651-718.
- Koleff, P. y T. Urquiza H. (coords.). 2011. Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: Retos en un país megadiverso. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, D.F., México. 250 p.
- Kumar, B. and U. Kumar. 2011. Ground water recharge zonation mapping and modeling using Geomatics techniques. International Journal of Environmental Sciences 1 (7): 1670-1681.
- Loos, S. 2011. Marxan analyses and prioritization of conservation areas for the Central Interior Ecoregional Assessment. BC Journal of Ecosystems and Management 12 (1): 88-97.
- Machín H., M. M. y M. Casas V. 2006. Valoración económica de los recursos naturales: Perspectiva a través de los diferentes enfoques de mercado. Revista Futuros 4 (13): 1-9.
- Martínez, M., y V. Reyes. 2007. Criterio para la priorización y selección de cuencas. Programa de comunicaciones WWF (World Wildlife Fund) Centroamérica. Guatemala, Guatemala. 36 p.

- Margules, C. R., R. L. Pressey and P. H. Williams. 2002. Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *Journal of Bioscience* 27 (4):309-326.
- Margules, C. y S. Sarkar. 2009. Planeación sistemática de la conservación. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México. 304 p.
- March, I. J., M. A. Carvajal, R. M. Vidal, J. E. San Román y G. Ruiz. 2009. Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. In: Sarukhán, J. (coord.), *Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio México, D.F., México, pp. 545-573.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2003. *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Island Press. Washington, DC., USA. 245 p.
- Olivas G., U. E., J. R. Valdez L., A. Aldrete, y M. J. González G. 2007. Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: Definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (4): 411-419.
- Parker, C., A. Mitchell, M. Trivedi, y N. Mardas. 2009. *The Little REDD+ Book*. (2a ed). Global Canopy Foundation. Oxford, United Kingdom. 136 p.
- Pressey, R. L. and K. H. Taffs. 2001. Scheduling priority conservation action in production landscapes: priority areas in western New South Wales defined by irreplaceability and vulnerability to vegetation loss *Biological Conservation* 100: 345-376.
- Pronatura y The Nature Conservancy (TNC). 2007. *Biodiversidad del centro y occidente de México. Planeación Ecorregional: Avances y Próximos Pasos. Parques en Peligro / USAID*. México, D.F., México. 80 p.
- Razola, I., J. M. Rey B., E. de la Montaña y L. Cayuela L. 2006. Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas* 15 (2):34-41.
- Rentería, A., L. C. Cantú A., E. Estrada C., J. Marmolejo M. y F. González S. 2011. Representatividad de los tipos de vegetación en las áreas naturales protegidas de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2 (3):69-82.
- Sánchez K., F. Jiménez, S. Velásquez, M. Piedra y E. Romero. 2004. Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Comunicación Técnica de Recursos Naturales y Ambiente*. 41: 88-95.
- Sánchez C., V., P. Iloldi, M. Linaje, T. Fuller y S. Sarkar. 2008. ¿Por qué hay un costo en posponer la conservación de la diversidad biológica en México? *Conabio. Biodiversitas* 76: 7-12.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2006. *Métodos para identificar áreas prioritarias de conservación de la biodiversidad para el ordenamiento ecológico*. In: SEMARNAT. *Manual del proceso de ordenamiento ecológico*. México, D. F., México. pp. 223-254. +Anexo 6.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2010. *Visión de México sobre REDD+. Hacia una estrategia nacional*. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 57 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2011. *Protocolo de áreas prioritarias 2011: Marco metodológico*. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 104 p.
- Vargas G., A., S. Aguilar M., M. A. Castillo S., E. Esquivel B., M. A. Hernández V., A. M. López G. y S. Quechulpa M. 2009. Programa estatal para la compensación por servicios ecosistémicos: Una propuesta para Chiapas. Conabio. *Corredor Biológico Mesoamericano México*. México, D. F., México. Serie Acciones. Núm 5. 54 p.

