



ARTÍCULO / ARTICLE

# VACÍOS Y OMISIONES EN CONSERVACIÓN DE LAS ECORREGIONES DE MONTAÑA EN MÉXICO

## GAPS AND OMISSIONS IN CONSERVATION OF MOUNTAIN ECOREGIONS IN MEXICO

César Martín Cantú Ayala<sup>1</sup>, Josué Raymundo Estrada Arellano<sup>1</sup>, María Magdalena Salinas Rodríguez<sup>1</sup>, José Guadalupe Marmolejo Moncivais<sup>1</sup>, Eduardo Andrés Estrada Castellón<sup>1</sup>

### RESUMEN

Las montañas son ecosistemas que albergan gran biodiversidad y representan una fuente importante de servicios ambientales para la sociedad. En el presente estudio se determinó la representatividad en áreas naturales protegidas, y su grado de cobertura de vegetación, así como los usos del suelo para las montañas clase 5 (clasificación de Kapos) dentro de las ecorregiones nivel IV de México, para lo cual se aplicó la metodología análisis de vacíos y omisiones de conservación (Gap). En 45 ecorregiones se registraron 20 109 804 ha montañosas, que comprenden las siete categorías del nivel I (Semiáridas). En las ecorregiones Sierras Templadas 30 % de su superficie son montañas, que equivalen a 2.1% del territorio de las Grandes Planicies; mientras que a las áreas naturales protegidas les corresponde 14.4%; en cambio, en el mundo el porcentaje es de 32%. La vegetación natural de las montañas contribuye con 11.9% al total del país, con 11.5% de la vegetación primaria, y para las zonas con usos antrópicos con 2.9%, muy por debajo del 13.3% registrado a nivel mundial. Las ecorregiones de la Sierra Madre del Sur tienen la segunda mayor cobertura nacional de montañas con 20.5%, después de las existentes en la Sierra Madre Occidental (25.3%). Situación alarmante, dada la elevada tasa de deforestación existente en el sureste, donde solo 21.4% de su territorio tiene vegetación primaria, respecto al 49.3% registrado en el país. Es necesario emprender acciones para proteger los ecosistemas de montaña en México, principalmente, en la región sureste.

**Palabras clave:** Análisis de vacíos y omisiones, áreas naturales protegidas, ecorregiones, montañas, uso del suelo, vegetación primaria.

### ABSTRACT

Mountains are ecosystems that harbor great biodiversity and represent important source of environmental services to society. In the present study it was determined for the class 5 mountains (Kapos classification) of Mexico in level IV ecoregions, their level of representation in protected areas and their vegetation and land use coverage, following the methodology developed by the gap analysis program (GAP) of the USA. In 45 of the 99 ecoregions of Mexico exist mountains which cover 20,109,804 hectares, representing 10.3% of the country. The mountains are present in the seven categories of level I ecoregions of Mexico: Great Plains, North American Deserts, California Mediterranean, Southern Semi-Arid, Temperate Sierras, Tropical Dry Forests and Tropical Humid Forests. The 30.1% of Temperate Sierras ecoregions surface are mountains, while they cover only 2.1% of the Great Plains ecoregion territory. In Mexico, only 14.4% of protected areas surface corresponds to mountains, while worldwide, 32% of protected areas are located in these ecosystems. The natural vegetation of mountains represents 11.9% of this type in Mexico and 11.5% of primary vegetation, while areas with anthropic uses represent only 2.9%, well below the 13.3% recorded worldwide. Ecoregions of the Sierra Madre del Sur are the second largest covered mountains of Mexico with 20.5%, after those in the Sierra Madre Occidental (25.3%). This situation is alarming, given the high rate of deforestation recorded in southeastern Mexico, where only 21.4% of its territory has primary vegetation, compared to 49.3% for Mexico. Actions are needed to adequately protect mountain ecosystems in Mexico, given special attention to southeast region of the country.

**Key words:** Gap Analysis, mountains, protected areas, ecoregions, soil use, primary vegetation.

Fecha de recepción / date of receipt: 9 de febrero de 2013. Fecha de aceptación / date of acceptance: 10 de abril de 2013.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: cantu.ayala.cesar@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Las montañas comprenden 40 millones de kilómetros cuadrados, es decir, 27% de la superficie continental del planeta, en donde vive 22% de la población total; estos ecosistemas proveen el agua fresca para más de la mitad de la humanidad (Kapos *et al.*, 2000). No obstante, que se carece de su inventario biológico se tiene el registro de, al menos, 10 mil especies de plantas endémicas, para los cinturones alpinos, y que albergan 4% de la flora mundial; por lo que su riqueza vegetal es mayor a la que se distribuye en superficies equivalentes de regiones bajas. Para el caso de la fauna, tampoco existen estimaciones disponibles, aunque en zonas de climas templados a fríos el número de taxa animales es 10 veces superior al de las plantas. La rica y compleja biodiversidad de las montañas es el resultado de la compresión de zonas climáticas en distancias cortas (Spehn *et al.*, 2010). Por otra parte, los ecosistemas de montaña son de gran importancia para la sociedad, ya que de su integridad ecológica depende la provisión de múltiples servicios ambientales entre los que destaca la producción de agua limpia, por lo que son llamadas "torres de agua". Las montañas descargan aproximadamente el doble de este líquido que podría esperarse, a partir de la superficie territorial que cubren (Viviroli *et al.*, 2003; Körner y Ohsawa, 2005).

Los ecosistemas de montaña son de los más extensos del país. Desde épocas prehispánicas, por cuestiones climáticas e hidrológicas, las estribaciones boscosas han sido las preferidas para el establecimiento de asentamientos humanos, muchos de los cuales se han sobrepoblado, y en consecuencia concentran comunidades de alto marginación social (Sánchez, 2003; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001). A pesar de que aproximadamente la mitad del territorio nacional está ubicada por debajo de los 1 000 msnm, 69% de sus habitantes vive en comunidades que se localizan por encima de esta altitud (INEGI, 2005), tan solo las localidades del Eje Neovolcánico Transversal albergan casi 30% de la población total del país (Conabio-INEGI, 2010). Cantú *et al.* (2004) citan que 16 504 ha ubicadas por arriba de la cota de los 4 000 msnm que conforman las cúspides de las montañas de México, se sitúan dentro de áreas naturales protegidas (ANP); sin embargo, no se cuenta con una evaluación sobre el grado de conservación de todos los ecosistemas de montaña del país, pese a que están sometidos a importantes amenazas: la deforestación, incendios forestales y el cambio climático, entre otras (Wallace *et al.*, 2012; Valero, 2001).

La compleja fisiografía de México es el resultado de la interacción de cinco placas tectónicas, cuya acción conjunta ha originado cordilleras por plegamiento (Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur), o por vulcanismo (Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico Transversal); las mesetas (Altiplano Central) y depresiones (Balsas y Chiapas) quedaron confinadas entre las principales cordilleras (Espinosa y Ocegueda, 2008). Las montañas son elementos conspicuos del paisaje, pero su definición no es sencilla. Kapos *et al.* (2000) propusieron una, aceptada

## INTRODUCTION

Mountains cover a total area of 40 million square kilometers, i.e. 27% of the continental surface, and 22% of the world's total population live on them. These ecosystems provide fresh water for more than half humankind (Kapos *et al.*, 2000). Nevertheless, there is no biological inventory for them. There are records of at least 10 thousand species of endemic plants within the Alpine belts, which amount to 4% of the world's flora; the vegetable wealth of these regions is greater than that which is distributed in equivalent surfaces of the lowlands. There are also no estimates available for animal wildlife, although in regions with a temperate to cold climate the number of animal taxa is 10 times higher than that of plants. The rich and complex biodiversity of the mountains is a result of the compression of climatic zones in short distances (Spehn *et al.*, 2010). On the other hand, mountain ecosystems are extremely important for society, since the supply of various environmental services –notably the production of clean water, for which they are dubbed "water towers"– depends on their ecological integrity. The mountains discharge approximately twice as much water as might be expected judging by the territorial surface that they cover (Viviroli *et al.*, 2003; Körner and Ohsawa, 2005).

Mountain ecosystems are among the most extensive ones in the country. From pre-Hispanic times, for climatic and hydrological reasons, the wooded foothills have been favored by human settlements, many of which have become overpopulated and therefore concentrate communities with a high degree of social marginalization (Sánchez, 2003; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001). Although approximately one half of the national territory is located at less than 1 000 masl, 69% of its inhabitants live in communities above this altitude (INEGI, 2005). The localities of the Transversal Neovolcanic Axis alone, harbor almost 30% of the overall population of the country (Conabio-INEGI, 2010). Cantú *et al.* (2004) quote that 16 504 ha located above the altitude limit of 4 000 masl defined by the tops of the mountains of Mexico are part of natural protected areas (NPAs); however, there is no assessment about the degree of conservation of all the mountain ecosystems of the country, despite the fact that they are subject to major threats, among them deforestation, forest fires, and climate change (Wallace *et al.*, 2012; Valero, 2001).

The complex physiography of Mexico is the result of the interaction of five tectonic plates whose joint action has originated mountain chains through bending (Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur), or through volcanism (Sierra Madre Occidental, Transversal Neovolcanic Axis). The plateaus (High Central Plateau) and depressions (Balsas and Chiapas) are confined between the main mountain chains (Espinosa and Ocegueda, 2008).

Mountains are conspicuous elements of the landscape, but they are not easy to define. Kapos *et al.* (2000) proposed a globally accepted definition based on the combination of the variables altitude and slope, in which they included seven

globalmente, con base en la combinación de las variables altitud y pendiente, en la que incluyeron siete clases o categorías. En el 2004, se implementó en México el Programa de Trabajo sobre Diversidad Biológica de Montañas, como parte del Acuerdo de las Partes del Convenio para la Diversidad Biológica, su objetivo general era alcanzar una reducción importante en la pérdida de la biodiversidad; con ese propósito se seleccionaron las 60 montañas más relevantes del país, que cubren una superficie de 7.4 millones de hectáreas; sin embargo han sido pocos los trabajos realizados en este tema (Pompa, 2008).

El análisis ecorregional se ha utilizado para caracterizar los ecosistemas terrestres (Koleff *et al.*, 2009; Koleff y Urquiza-Haas, 2011) y para orientar las acciones de conservación o, de acuerdo con el estado de conservación, las amenazas a la biodiversidad y el grado de protección que han alcanzado (CCA 1997; Olson y Dinerstein 1998; Olson *et al.*, 2001a; Loucks *et al.*, 2003). Las ecorregiones son uno de los niveles de organización de la diversidad biológica (Challenger y Soberón 2008); se pueden definir como áreas geográficamente distintivas que contienen un conjunto de comunidades naturales que comparten la gran mayoría de sus especies, condiciones ambientales y dinámicas ecológicas (Dinerstein *et al.*, 1995; Olson *et al.*, 2001; Ricketts *et al.*, 1999). Para Norteamérica se cuenta con una clasificación ecorregional común (niveles I a III, anidados) (CCA 1997; Challenger y Soberón 2008) y para México se reconocen 99 ecorregiones de nivel IV (INEGI-Conabio-INE, 2007).

Koleff y Urquiza-Haas (2011) caracterizaron las siete ecorregiones de nivel I del país, las cuales presentan intervalos altitudinales de, al menos, 2 400 m, lo que indica la marcada heterogeneidad del territorio y explica su gran biodiversidad. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar los sitios de montaña clase 5 (intervalo de altitud superior a 1 000 m y pendiente igual o mayor a 5 grados), a partir del criterio de Kapos *et al.* (2000) dentro de las ecorregiones nivel IV de México, a fin de conocer su representatividad en las ANP, así como el grado de su cobertura vegetal, y sus tipos de uso del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con la metodología desarrollada por el programa de análisis de vacíos y omisiones de conservación (GAP) de los Estados Unidos de América (Scott *et al.*, 1993; Cantú *et al.*, 2003, 2004, 2011a), que consiste en determinar en qué proporción de superficie las Áreas Naturales Protegidas (ANP) representan la diversidad biológica, en este caso de los ecosistemas de montaña y sus tipos de vegetación natural y primaria. Para ello se utilizaron las ANP de jurisdicción federal, estatal y municipal (Bezaury-Creel *et al.*, 2007). El mapa digital de uso del suelo y vegetación Serie IV (INEGI, 2009), el mapa de ecorregiones nivel IV (INEGI-Conabio-INE, 2007), el mapa de geoformas (INEGI, 2011) y el modelo digital de elevación en formato reticulado de 1 km<sup>2</sup> de resolución (INEGI, 1998). Todas

clases o categorías. In the year 2004 the Programme of Work on Mountain Biodiversity was implemented as part of the Conference of the Parties to the Convention for Biodiversity. Its general purpose was to achieve an important reduction of the loss of biodiversity; the 60 most relevant mountains of the country, covering a surface of 7.4 million hectares, were selected for this purpose. However, few papers have been written on this topic (Pompa, 2008).

The ecoregional analysis has been utilized to characterize the terrestrial ecosystems (Koleff and Urquiza-Haas *et al.*, 2011), and to orient conservation actions or, according to the conservation status, the threats to biodiversity and the degree of protection that they have attained (CCA, 1997; Olson and Dinerstein, 1998; Olson *et al.*, 2001; Loucks *et al.*, 2003). Ecoregions are one of the levels of organization of biodiversity (Challenger and Soberón, 2008); they may be defined as geographically distinctive areas containing a group of natural communities that share most of their species, environmental conditions and ecological dynamics (Dinerstein *et al.*, 1995; Olson *et al.*, 2001; Ricketts *et al.*, 1999).

There is a common classification for North America (levels I to III, nested) (CCA, 1997; Challenger and Soberón, 2008), and 99 ecoregions of the IV<sup>th</sup> level are recognized for Mexico (INEGI-Conabio-INE, 2007).

Koleff and Urquiza-Haas (2011) characterized the seven level I ecoregions of the country, which have altitude intervals of at least 2 400 m, a fact that points to the marked heterogeneity of the territory and accounts for its great biodiversity. Based on this, the objective of the present paper was to determine the Class 5 mountain sites (altitude interval over 1 000 m and slope equal to or above 5 degrees) within the Level IV ecoregions of Mexico, according to the criteria of Kapos *et al.* (2000), in order to determine their representativity in the NPAs, as well as their degree of vegetable coverage and the types of use of their soil.

## MATERIALS AND METHODS

The study was performed with the methodology developed by the conservation gaps and omissions analysis program (GAP) of the United States of America (Scott *et al.*, 1993; Cantú *et al.*, 2003, 2004, 2011a), which consists in determining, as a percentage, the surface of Natural Protected Areas (NPAs) that harbor the biodiversity, in this case, the mountain ecosystems and their natural and primary vegetation types. Federal, state and municipal NPAs were used for this purpose (Bezaury-Creel *et al.*, 2007). All digital covers -the digital map of Level IV ecoregions (INEGI-Conabio-INE, 2007), the geomorph map (INEGI, 2011), and the digital elevation model in a reticulated format at a 1 km<sup>2</sup> resolution (INEGI, 1998)- were combined and analyzed with ArcGis® versión 10.1 and ArcView® 3.2 version software, vectorial and raster maps, and Lambert Conformal Conic projection and the NAD27 Datum.

las cubiertas digitales fueron combinadas y analizadas con los programas ArcGis® versión 10.1 y ArcView® versión 3.2, y se utilizaron mapas vectoriales y *raster* con la proyección Cónica Conforme de Lambert y el Datum NAD27.

Para determinar los ecosistemas de montaña de México se seleccionaron 61 de las 99 ecorregiones nivel IV, cuyo gradiente altitudinal era igual o mayor a 1 000 m, las cuales representan 83% del territorio nacional. Posteriormente, se superpusieron con la categoría de Sierras del mapa de Sistema de Topoformas (NEGI, 2011), para un total de 45 ecorregiones que sumaron 96 950 363 hectáreas; es decir, 50% de la superficie del país. Los sitios de montaña cubren un total de 20 109 804 hectáreas, que representa 10.3% del territorio nacional (cuadros 1 y 2, Figura 1).

61 of the 99 level IV ecoregions with an altitude gradient equal to or over 1 000m, which account for 83% of the national territory, were selected in order to determine the mountain ecosystems of Mexico. These were subsequently superimposed to a total of 45 ecoregions covering a total of 96 950 363 has, i.e. 50% of the country's surface. Mountain locations cover a total of 20 109 804 has, i.e. 10.3% of the national territory (Tables 1 and 2, Figure 1).

Finally, those locations with a slope equal to or higher than 5°, corresponding to the 5th category of the mountain classification by Kapos *et al.* (2000) were identified based on the slope map generated from the digital elevation model. The Temperate Sierras ecoregions have the highest altitude interval and slope, in contrast to the Great Plains (Table 2, Figure 1).

Cuadro 1. Superficie de las ecorregiones con ecosistemas de montaña en México con base en el criterio de Kapos *et al.* (2000).  
Table 1. Surface of ecoregions with mountain ecosystems in Mexico, based on the criteria of Kapos *et al.* (2000).

Clave Ecorregión NI	Nombre Ecorregión NI	Superficie Ecosistemas de Montaña (ha)	Altitud Promedio (msnm)	Altitud mínima (msnm)	Altitud máxima (msnm)	Pendiente promedio (grados)	Pendiente máxima (grados)
9	Grandes Planicies	228 526	539 ± 284	18	2 592	1.46 ± 2.3	28.96
10	Desiertos de América del Norte	2 037 127	1 132 ± 289.9	0	3 129	2.5 ± 2.4	33.37
11	California Mediterránea	224 416	1 387 ± 353.1	1	3 000	1.86 ± 2.1	36.71
12	Elevaciones Semiáridas Meridionales	600 304	1 623 ± 247.3	469	3 135	1.59 ± 1.8	29.28
13	Sierras Templadas	13 009 437	1 640 ± 499.1	83	5 600	4.45 ± 3.0	44.48
14	Selvas Cálido-Secas	2 844 193	586 ± 318.7	1	2 801	2.58 ± 2.4	35.21
15	Selvas Cálido-Húmedas	1 165 801	312 ± 281.1	1	2 500	1.94 ± 2.3	41.63
	Total	20 109 804	1 031.3 ± 326	80.4	3 251.0	2.3 ± 2.3	35.7

Por último, de estas 45 ecorregiones se obtuvieron, con base en el mapa de pendientes generado a partir del modelo de elevación digital, los sitios cuya pendiente fue igual o superior a cinco grados que corresponde a la categoría 5 de la clasificación de montañas de Kapos *et al.* (2000); las ecorregiones Sierras Templadas tienen el mayor intervalo altitudinal y pendiente, lo que contrasta con las ecorregiones de las Grandes Planicies (Cuadro 2, Figura 1).

The criterion to determine the acceptable level of representativity in NPAs for this study was based on the 12% national protected mean (Koleff *et al.*, 2009). Therefore, any mountain ecosystem or any type of vegetation not included in the NPAs is considered to be a conservation gap, while those represented in these reserves whose mean is below 12% (protected world and national mean) is a conservation omission (Cantú *et al.*, 2001).

It should be noted that mountain ecosystems exist in every state of the country, except Campeche, Yucatán and Quintana Roo, but are present in the seven categories of Level 1 ecoregions recognized for Mexico: Great Plains, Deserts of North America, Mediterranean California, Southern Semi-arid Elevations, Temperate Sierras, Warm Dry Forests and Warm Humid Forests (Figure 1).



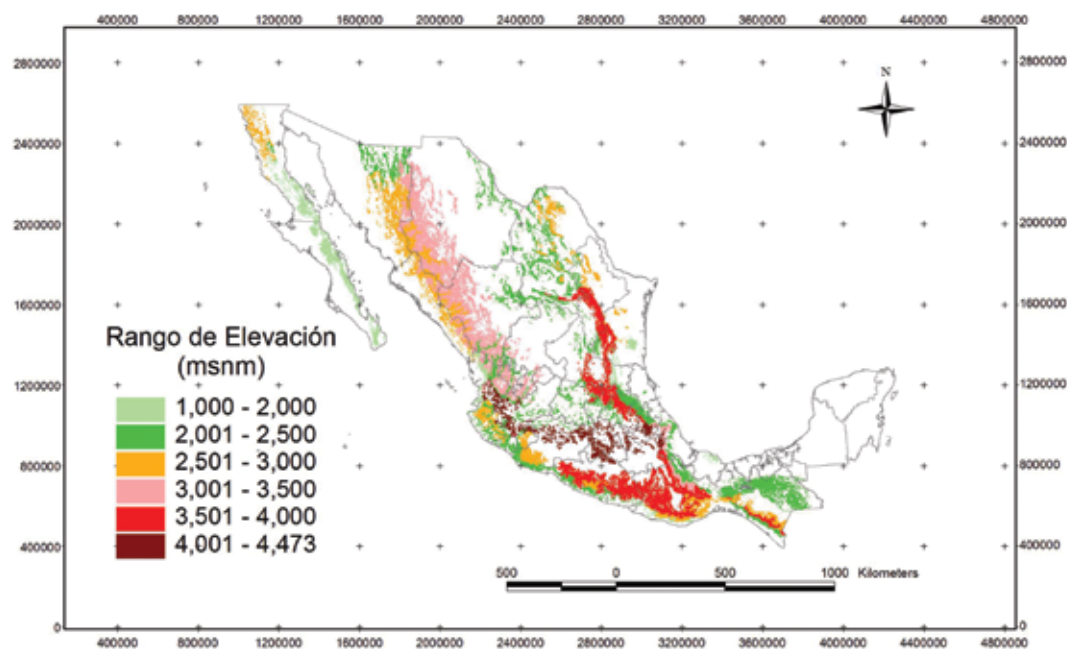


Figura 1. Superficie con ecosistemas de montaña con base en el criterio de Kapos *et al.* (2000) (intervalo de altitud igual o mayor a mil metros y pendiente igual o superior a 5 grados).

Figure 1. Surface with mountain ecosystems based on the criteria of Kapos *et al.* (2000) (altitude interval equal to or above one-thousand meters, and slope equal to or above 5 degrees).

El criterio para definir el nivel de representatividad aceptable en ANP para el presente estudio se basó en la media protegida nacional de 12% (Koleff *et al.*, 2009); por lo anterior, se consideró que cualquier ecosistema de montaña o tipo de vegetación no incluido dentro de las ANP es un vacío de conservación, mientras que los representados en ellas por debajo de 12% (media mundial y nacional protegida) es una omisión de conservación (Cantú *et al.*, 2011).

## RESULTS AND DISCUSSION

Out of the 99 terrestrial ecoregions of Mexico, 45 have Class 5 mountains, covering an area that amounts to 49.9% of the national territory, for 20 109 804 hectares, equivalent to 10.3% of the total surface of the country. Mountain ecosystems are located in all seven Level 1 great ecosystems or ecoregions; 30%

Cuadro 2. Superficie y cobertura proporcional de las ecorregiones con ecosistemas de montaña en México.

Table 2. Surface and coverage ratio of ecoregions with mountain ecosystems in Mexico.

Clave Ecorregión N1	Nombre Ecorregión N1	Superficie (ha)	Proporción (%)	Superficie Ecosistemas de Montaña (ha)	Proporción de Ecosistemas de Montaña respecto a su territorio (%)
9	Grandes Planicies	10 683 203	5.5	228 526	2.1
10	Desiertos de América del Norte	55 698 485	28.7	2 037 127	3.7
11	California Mediterránea	2 529 071	1.3	224 416	8.9
12	Elevaciones Semiáridas Meridionales	22 862 477	11.8	600 304	2.6
13	Sierras Templadas	43 161 416	22.2	13 009 437	30.1
14	Selvas Cálido-Secas	31 831 355	16.4	2 844 193	8.9
15	Selvas Cálido-Húmedas	27 620 244	14.2	1 165 801	4.2
	Total	194 386 251	100	20 109 804	10.3

Cabe destacar que los ecosistemas de montaña existen en todos los estados del país, excepto en Campeche, Yucatán y Quintana Roo, pero están presentes en las siete categorías de ecorregiones nivel I reconocidas para México: Grandes Planicies, Desiertos de América del Norte, California Mediterránea, Elevaciones Semiáridas Meridionales, Sierras Templadas, Selvas Cálido-Secas y Selvas Cálido-Húmedas (Figura 1).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 99 ecorregiones terrestres de México, 45 cuentan con montañas clase 5, con una extensión que equivale a 49.9% del total en el país, para 20 109 804 hectáreas que equivalen a 10.3% del territorio nacional. Los ecosistemas de montaña se localizan en los siete grandes sistemas ecológicos o ecorregiones de nivel I; de la superficie de las ecorregiones Sierras Templadas, 30 % son montañas; mientras que solo 2.1% de las Grandes Planicies tienen este tipo de ecosistemas orográficos (cuadros 1 y 2; figuras 1 y 2).

En 17 de las 21 ecorregiones nivel IV Sierras Templadas, existen montañas y cuentan con la mayor cobertura (64.7%); en cambio, únicamente una de las cuatro ecorregiones de las Grandes Planicies y tres de las cinco que corresponden a la California Mediterránea poseen montañas, que a su vez constituyen la menor superficie, con 1.1% de cobertura, en cada caso; sin embargo, California Mediterránea es un sistema de ecorregiones topográficamente más complejo, ya que 8.9% de su área es montañosa, algo similar ocurre con las Selvas Cálido Secas (Cuadro 1; figuras 2 y 3).

of the Temperate Sierras ecoregion consists of mountains, while only 2.1% of the Great Plains have mountain ecosystems (Tables 1 and 2, Figures 1 and 2).

There are mountains in 17 of the 21 Level IV Temperate Sierras, which have the highest coverage ratio (64.7%); on the other hand, only one of the four ecoregions of the Great Plains and three of the five belonging to Mediterranean California include mountains, with the lowest coverage (1.1%) in each case. However, like the Warm Dry Forests, the Mediterranean California ecoregion system is topographically more complex, since 8.9% of its surface consists of mountains (Table 1; Figures 2 and 3).

Level 1 ecoregions, Deserts of North America, have the highest coverage ratio in NPAs in Mexico, followed by those of the Warm Humid Forests and Temperate Sierras. However, the Temperate Sierras cover the largest portion of mountainous surface (30.1%), although only 15.6% of their extension is located within the NPAs, and a percentage surpassed by those of the Deserts of North America, the Great Plains and the Warm Humid Forests (Table 3, Figure 4). This is significant from the point of view of biodiversity conservation and of the protection of hydrological basins, since mountain ecosystems contain a larger diversity of ecosystems and species per surface unit, compared to flat zones (Körner and Ohsawa, 2005; Spehn *et al.*, 2010) and contribute a larger amount of water per surface unit than valleys (Kapos *et al.*, 2000).

Of the 45 mountainous ecoregions (96 950 363 hectares), that of the Sierra Madre Occidental has the highest coverage, with 18.1% of the national territory, followed by Sierra Madre del Sur,

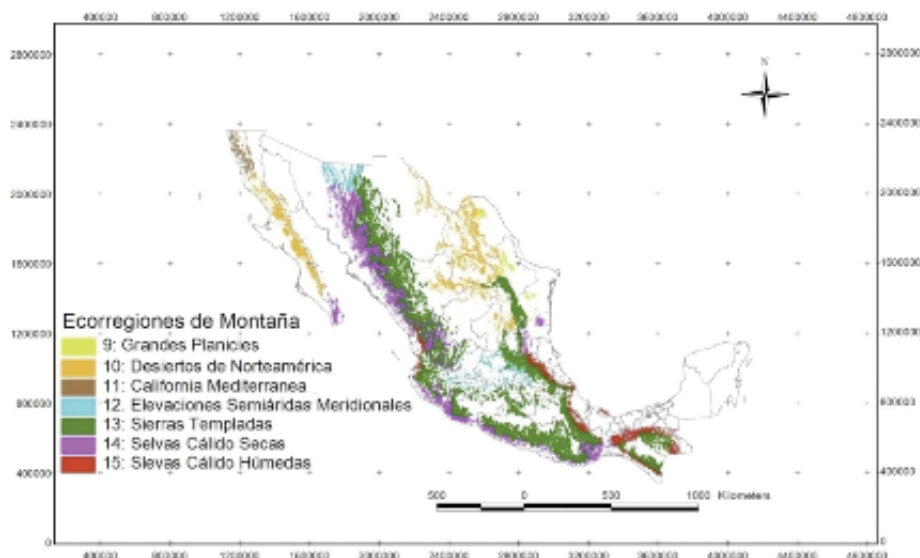
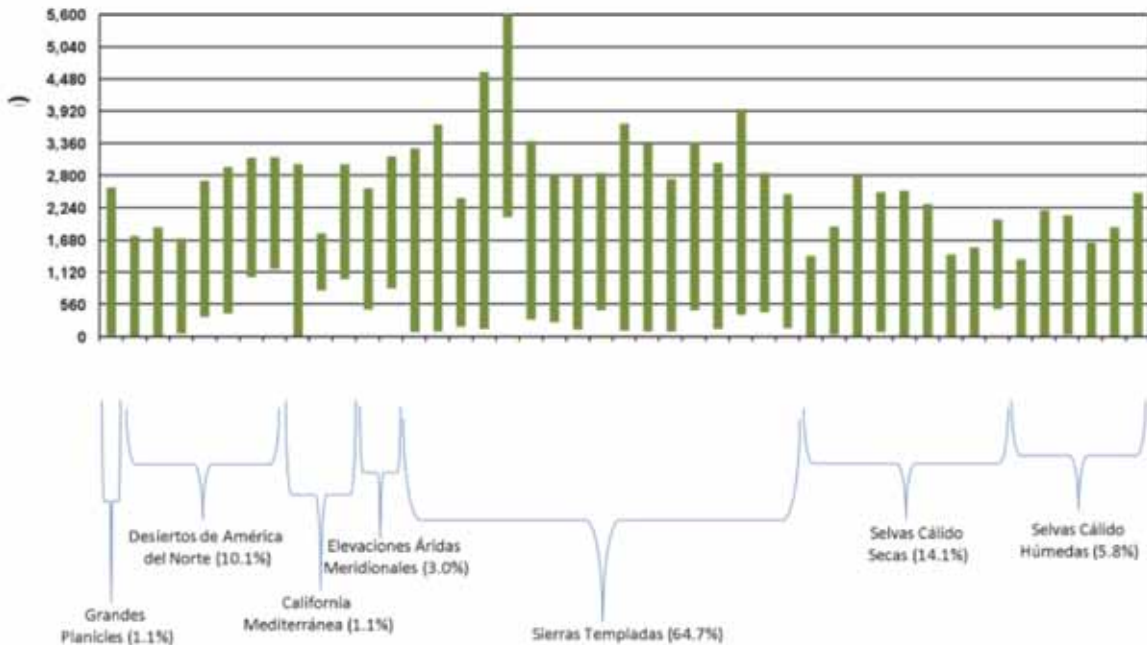


Figura 2. Ecosistemas de montaña de México correspondientes a la categoría 5 de la clasificación de Kapos *et al.* (2000) en las ecorregiones de nivel I.

Figure 2. Mountain ecosystems of Mexico corresponding to the 5th category in the classification by Kapos *et al.* (2000) in Level I ecoregions.



ENT = Eje Neovolcánico Transversal; SMO<sub>r</sub> = Sierra Madre Oriental; SMO<sub>cc</sub> = Sierra Madre Occidental; AlCh = Altos de Chiapas; SMS = Sierra Madre del Sur. Grandes Planicies = Great Plains; Desiertos de América del Norte = Deserts of North America; California Mediterránea = Mediterranean California; Altitudes Áridas Meridionales = Southern Arid Altitudes; Sierras Templadas = Temperate Sierras; Selvas Cálido Secas = Warm Dry Forests; Selvas Cálido Húmedas = Warm Humid Forests; TNA = Transversal Neovolcanic Axis; SMO<sub>r</sub> = Sierra Madre Oriental; SMO<sub>cc</sub> = Sierra Madre Occidental; HlCh = Highlands of Chiapas; SMS = Sierra Madre del Sur.

Figura 3. Intervalo altitudinal de las ecorregiones nivel IV con montañas de México, entre paréntesis el porcentaje de superficie que corresponde a la extensión total de montañas en México (20 109 804 ha).

Figure 3. Altitude interval of Level IV ecoregions with mountains in Mexico, with the percentage of the total mountain surface of Mexico (20 109 804 has) quoted in parentheses.

Las ecorregiones de nivel I, Desiertos de América del Norte, poseen la mayor cobertura en ANP de México, seguidas de las correspondientes a Selvas Cálido-Húmedas y Sierras Templadas. No obstante, al considerar exclusivamente la superficie de montañas, las ecorregiones de Sierras Templadas son las que abarcan la superficie más grande de los ecosistemas orográficos (30.1%), pero solo 15.6% de su extensión está dentro de ANP, y son superadas por las ecorregiones de Desiertos de América del Norte, Grandes Planicies y Selvas Cálido-Húmedas (Cuadro 3; Figura 4). Esto es importante desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad y la protección de las cuencas hidrológicas, ya que los ecosistemas de montaña contienen más diversidad de ecosistemas y especies por unidad de superficie, en relación con las zonas planas (Körner y Ohsawa, 2005; Spehn *et al.*, 2010), además de aportar mayor cantidad de agua por unidad de superficie, respecto a los valles (Kapos *et al.*, 2000).

with 9.6%; the Neovolcanic Axis, with 7.2%, and Sierra Madre Oriental, with 5.4% (Table 4; Figure 2). The areas with a largest surface with mountains are the mountain mesophilic forests of Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Oriental and the Highlands of Chiapas, all of which have the lowest coverage ratios in NPAs and correspond to conservation omissions. This means that only the mountain ecoregions of the Transversal Neovolcanic Axis, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, except for ecoregion 13.3.1.2 -mountain mesophilic forest of Sierra Madre Oriental and part of the highlands of Chiapas- are above the national protected mean (12%) (Table 4; Figure 4). Although 32% of the surface included in natural protected areas worldwide is located on mountains (UNEP-WCMC, 2002), in Mexico only 14.4% of the surface in NRs consists of mountains.

This situation is a cause for concern, given the high deforestation rate prevalent in the southeast of Mexico (Kolb, 2013), where 21.4% of the territory of the states of Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Tabasco, Oaxaca and Guerrero is covered with primary vegetation, compared to 49.3% of the total territory of the country (Cantú *et al.*, 2011).



Cuadro 3. Superficie de las ecorregiones con ecosistemas de montaña y su cobertura en las áreas naturales protegidas de México.  
Table 3. Surface of ecoregions with mountain changes and their coverage in the natural protected areas of Mexico.

Clave Ecorregión NI	Nombre Ecorregión NI	Superficie Ecorregiones con Montañas (ha)	Proporción de Ecorregiones en ANP (%)	Superficie de Montaña (ha)	Proporción de Montaña (%)	Proporción de Montaña en ANP (%)
9	Grandes Planicies	10 683 203	6.9	228 526	2.1	32.4
10	Desiertos de América del Norte	55 698 485	15.9	2 037 127	3.7	33.2
11	California Mediterránea	2 529 071	8.0	224 416	8.9	4.1
12	Elevaciones Semiáridas Meridionales	22 862 477	3.6	600 304	2.6	6.0
13	Sierras Templadas	43 161 416	14.1	13 009 437	30.1	15.6
14	Selvas Cálido-Secas	31 831 355	6.6	2 844 193	8.9	9.7
15	Selvas Cálido-Húmedas	27 620 244	14.3	1 165 801	4.2	15.8
	Total	194 386 251	11.7	20 09 804	10.3	16.3

De las 45 ecorregiones con montañas (96 950 363 hectáreas), la de la Sierra Madre Occidental es la de mayor cobertura con 18.1% del país, seguida de la Sierra Madre del Sur con 9.6%, el Eje Neovolcánico con 7.2%, y la Sierra Madre Oriental con 5.4% (Cuadro 4; Figura 2). Si se considera la superficie relativa con montañas destacan las cubiertas por Bosques Mesófilos de Montaña de la Sierras Madre del Sur, Sierra Madre Oriental y los Altos de Chiapas, las cuales tienen, a su vez, las menores coberturas en ANP, y corresponden a las omisiones de conservación. Esto significa que solo las ecorregiones de montaña del Eje Neovolcánico Transversal, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental con excepción de la ecorregión 13.3.1.2: Sierra con Bosque Mesófilo de Montaña de la Sierra Madre Oriental y parte de los Altos de Chiapas están representadas por encima de la media nacional protegida (12%) (Cuadro 4; Figura 4). Aunque, a nivel mundial 32% de la superficie incluida en áreas protegidas se ubica en montañas (UNEP-WCMC, 2002), en México solamente 14.4% de la superficie en ANP son montañas.

Esta situación resulta alarmante, dada la elevada tasa de deforestación existente en el sureste de México (Kolb, 2013) donde 21.4% del territorio de los estados de Campeche Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Tabasco, Oaxaca y Guerrero cuenta con vegetación primaria, en comparación con 49.3% que hay en la república mexicana (Cantú *et al.*, 2011).



The wealth of species tends to increase toward the south of the country and attains its highest value in the center-northeast of Oaxaca, where Sierra Madre del Sur, the Neovolcanic Axis, Sierra Madre Oriental, the Northern Sierra of Oaxaca, and the Tehuacán-Cuicatán Valley converge (Villaseñor *et al.*, 2005). The greatest heterogeneity of habitats and the most complex geological and paleoclimatic history may be witnessed there. Conversely, endemisms are more frequent in the mountains of southern Mexico and in the semi-arid and sub-humid tropical areas (Rzedowski, 1991; Llorente-Bousquets and Luis-Martínez, 1993). The second highest coverage by mountains, with 20.5%, can be found in the ecoregions of Sierra Madre del Sur, followed by those of Sierra Madre del Sur, constituting 25.3% of the mountainous surface of the country (Table 4). The highest biodiversity is concentrated in the southeast, in six ecoregions of Sierra Madre del Sur and four of the Highlands of Chiapas in a relatively small surface, which determines the heterogeneity of environments, since the altitude-temperature gradient on the mountains is between 600 and 1000 times higher than the latitudinal gradients (Körner and Ohsawa, 2005).

### Vegetation and land use

The vegetation layer and the land use (INEGI, 2009) indicate that there are 51 types of vegetation, equivalent to 137 856 247 has; i.e. 71% of the national territory: The first covers 49%, followed by anthropic uses, with 29%; this last figure corresponds with the world mean of 30% (MEA, 2005). Natural vegetation covers 16 396 163 hectares on the mountains; this amounts to 11.9% of the existing vegetation in the country, while primary vegetation amounts to 11.5% of the total. Anthropic uses are recorded for 2.9% of the mountains, a figure far below the value quoted by Kapos *et al.* (2000) in this type of ecosystems in the world (13.3%). This may be explained by the difficulty that the steep slope poses for productive activities, except for stockbreeding in summer pastures; therefore, secondary vegetation covers almost 13% of the overall territory of the nation (Table 5).



Cuadro 4. Relación proporcional de la cobertura de las ecorregiones con montañas en México y su nivel de representatividad en ANP.  
 Table 4. Coverage proportions of the ecoregions with mountains in Mexico and their level of representativity in NRS.

Clave de Ecorregión N4	Nombre de Ecorregión N4	Superficie (ha)	Proporción en ANP (%)	Superficie de Montaña (ha)	Proporción de Montaña (%)	Proporción de Montaña en ANP (%)
10.2.3.5	Sistema de Sierras del Corredor de la Giganta con Vegetación Xerófila y Subtropical	1 131 372	0.1	279 170	24.7	0.02
14.1.2.2	Selva Baja Caducifolia y Bosque de Encino de la sierra de Dientes de Moreno	639 775	2.3	47 628	7.4	0.1
13.5.2.4 (SMS)	Bosque Mesófilo de Montaña de las sierras de Guerrero	231 927	0.1	135 486	58.4	0.1
13.5.2.3 (SMS)	Bosque Mesófilo de Montaña de las sierras del Sur de Oaxaca	308 308	0.2	137 481	44.6	0.2
15.1.2.2	Lomeríos del norte de Veracruz con Selva Mediana Superennifolia	1 388 046	0.1	27 111	2.0	0.2
13.5.1.1 (SMS)	Bosques de Coníferas, Encinos y Mixtos de las sierras Madre del Sur de Michoacán	900 833	0.2	363 519	40.4	0.3
11.1.3.1	Sierras y lomeríos con Bosques de Coníferas, Encinos y Mixtos (de Juárez)	113 799	3.1	2 144	1.9	0.5
13.6.2.1 (AlCh)	Bosques de Coníferas, Encinos y Mixtos de los Altos de Chiapas	1 050 846	1.2	164 051	15.6	0.9
13.6.2.2 (AlCh)	Bosque Mesófilo de Montaña de los Altos de Chiapas	637 081	3.7	195 918	30.8	0.9
14.5.1.2	Cañón y lomeríos de Tehuantepec con Selva Baja Caducifolia	858 488	2.0	178 784	20.8	1.7
14.5.2.3	Planicie Costera y lomeríos del Pacífico Sur con Selva Baja Caducifolia	3 427 014	1.3	450 192	13.1	2.4
14.3.2.1	Lomeríos con Matorral Xerófilo y Selva Baja Caducifolia de Sinaloa y Sonora	7 820 409	2.7	1 466 219	18.7	2.7
11.1.1.3	Lomeríos y planicies con Matorral Xerófilo y Chaparral	2 277 064	7.5	208 433	9.2	3.0
14.5.2.4	Lomeríos con Selva Mediana Caducifolia del sur de Oaxaca	886 746	3.6	78 981	8.9	3.1
13.3.1.2 (SMOr)	Sierra con Bosque Mesófilo de Montaña de la Sierra Madre Oriental	393 601	7.2	245 700	62.4	3.4
13.5.2.2 (SMS)	Bosque Mesófilo de Montaña del norte de Oaxaca	640 113	4.3	434 753	67.9	3.6
15.1.2.3	Lomeríos del norte de Veracruz con Selva Mediana y Alta Perennifolia	1 404 229	2.2	247 479	17.6	3.6
13.5.2.1 (SMS)	Sierras con Bosques de Coníferas, Encinos y Mixtos de Guerrero y Oaxaca	6 152 760	3.9	2 656 635	43.2	3.7
12.1.1.1	Lomeríos y planicies con Matorral Xerófilo, Pastizal y altitudes aisladas	3 206 457	2.4	335 390	10.5	3.9
12.2.1.2	Lomeríos y planicies del Altiplano con Matorral Xerófilo y Pastizal	5 528 269	6.0	264 914	4.8	8.7
15.1.2.4	Selva Alta Perennifolia de la Vertiente del Golfo de la Sierra Madre del Sur	4 499 297	14.3	583 887	13.0	9.0
10.2.4.6	Lomeríos y Sierras Bajas del Desierto Chihuahuense Sur	2 640 030	5.7	281 456	10.7	10.1
13.2.1.1 (SMOcc)	Sierra con Bosques de Coníferas, Encinos y Mixtos	17 535 427	15.8	5 087 590	29.0	13.6
13.4.2.4 (ENT)	Sierra con Bosque Mesófilo de Montaña del Sistema Neovolcánico Transversal	361 887	14.8	120 324	33.2	14.8
14.1.2.3	Lomeríos y planicies con Selva Baja Caducifolia (de la Sierra de Cucharas)	828 426	7.6	62 679	7.6	20.2

Continúa Cuadro 4..

## Continuación Cuadro 4...

Clave de Ecorregión N4	Nombre de Ecorregión N4	Superficie (ha)	Proporción en ANP (%)	Superficie de Montaña (ha)	Proporción de Montaña (%)	Proporción de Montaña en ANP (%)
10.2.4.8	Altitudes aisladas y plegamientos del Altiplano Zacatecano-Potosino	186 021	19.6	49 875	26.8	21.6
10.2.4.2	Lomeríos y sierras bajas del Desierto Chihuahuense Norte	6 652 511	15.8	702 277	10.6	22.1
13.4.2.2 (ENT)	Lomeríos y sierras con Bosques de Coníferas, Encinos y Mixtos	6 548 241	18.7	861 277	13.2	23.4
13.6.1.1 (AlCh)	Sierra Madre Centroamericana con Bosques de Coníferas, Encinos y Mixtos	802 956	28.0	281 034	35.0	26.9
13.5.1.3 (SMS)	Sierras del Occidente de Jalisco con Bosques de Coníferas, Encinos y Mixtos	890 130	23.5	289 942	32.6	27.0
9.6.1.2	Lomeríos y sierras con Matorral Xerófilo y Bosques de Encino	2 549 902	16.8	228 526	9.0	32.4
15.6.1.2	Planicie Costera y someríos con Selva Alta Perennifolia	912 312	16.5	147 405	16.2	33.3
13.5.1.4 (SMS)	Sierras del occidente de Jalisco con Bosque Mesófilo de Montaña	216 319	43.9	100 906	46.6	34.7
14.3.2.2	Cañones con Selva Baja Caducifolia de la Sierra Madre Occidental	1 364 621	27.2	450 249	33.0	35.1
13.3.1.1 (SMOr)	Sierra con Bosques de Encinos, Coníferas y Mixtos	4 796 129	32.6	1 732 261	36.1	37.7
14.6.1.1	Planicie y lomeríos con Selva Baja Caducifolia y Matorral Xerófilo	756 297	12.8	81 396	10.8	38.1
10.2.3.2	Planicies y lomeríos costeros Bajacalifornianos del Mar de Cortés	1 124 791	38.6	140 755	12.5	38.2
15.5.2.2	Planicie y lomeríos con Selva Mediana Subperennifolia del occidente	760 014	29.2	136 807	18.0	39.7
10.2.4.4	Altitudes mayores del Desierto Chihuahuense	1 220 118	59.1	346 470	28.4	60.9
14.6.2.1	Sierra con Bosques de Encino y Coníferas	53 390	77.6	28 065	52.6	63.6
13.6.1.2 (AlCh)	Sierra Madre Centroamericana con Bosque Mesófilo de Montaña	297 046	72.6	185 292	62.4	69.4
15.3.1.1	Sierra de los Tuxtlas con Selva Alta Perennifolia	344 333	48.8	23 112	6.7	85.0
10.2.3.1	Planicies y sierras del Desierto Central Bajacaliforniano	2 513 461	96.0	237 124	9.4	91.7
13.4.2.3 (ENT)	Sierras con Pradera de Alta Montaña y sin vegetación aparente	27 411	100	17 268	63.0	95.1
	Total	96 950 363	15.2	20 109 804	20.7	16.3

ENT = Eje Neovolcánico Transversal; SMOr = Sierra Madre Oriental; SMOcc = Sierra Madre Occidental; AlCh = Altos de Chiapas; SMS = Sierra Madre del Sur.

TNA = Transversal Neovolcanic Axis; SMOr = Sierra Madre Oriental; SMOcc = Sierra Madre Occidental; HCh = Highlands of Chiapas; SMS = Sierra Madre del Sur.

La riqueza de especies tiene una tendencia general a incrementarse hacia el sur del país y alcanza su valor máximo en el centro-noreste de Oaxaca, en el que convergen la Sierra Madre del Sur, el Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental, la Sierra del Norte de Oaxaca y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Villaseñor *et al.*, 2005). Allí se observa la mayor heterogeneidad de hábitat y la historia geológica y paleoclimática más compleja. En cambio, los endemismos son más frecuentes tanto en las montañas del sur de México, como en las áreas tropicales semiáridas y subhúmedas (Rzedowski, 1991; Llorente-Bousquets y Luis-Martínez, 1993). En las ecorregiones de la Sierra Madre del Sur se presenta la segunda mayor cobertura de montañas con 20.5%, después de las existentes en la Sierra Madre Occidental, que

The natural vegetation includes six types (75.3%) -Oak Forest, Low Deciduous Forest, Pine-Oak Forest, Pine Forest, Pine-Oak Forest and Mesophilic Mountain Forest-, whose coverage ratios in NPAs are represented by the respective values of 16.2, 12.8, 14.0, 13.4, 16.1 and 17.2 %.

As for primary vegetation, 43 out of the 51 types identified for Mexico are found on the mountains. The absent types are the Middle-size Evergreen Forest, Conifer Shrubs, Low Evergreen Forest, Petén's Vegetation, Coastal Dune Vegetation, Halophile-Hydrophile Vegetation, Low Subperennifoliar Thorny Forest, and Foggy Sarcocrasicaule Scrublands, equivalent to 1.7% of the 95 129 711 hectares of primary vegetation of the country (Tables 5 and 6).

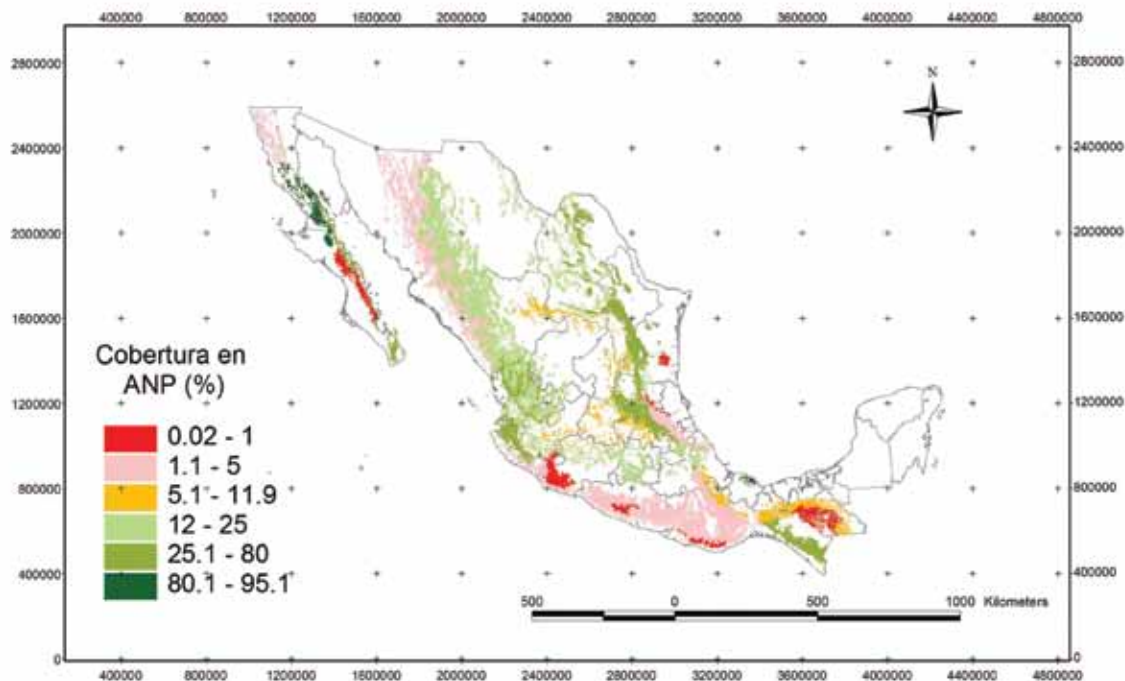


Figura 4. Nivel de representatividad de las ecorregiones de montaña las ANP de México  
 Figure 4. Level of representativity of the mountain ecoregions: NRs of Mexico.

constituyen 25.3% de la superficie con montañas del país (Cuadro 4). En el sureste se concentra la biodiversidad más alta, con seis ecorregiones de la Sierra Madre del Sur y cuatro de los Altos de Chiapas en una superficie relativamente pequeña, lo que determina la heterogeneidad de ambientes, ya que el gradiente altitud-temperatura en las montañas es entre 600 y 1 000 veces mayor en comparación con el de los gradientes latitudinales (Körner y Ohsawa, 2005).

Of the 20 109 804 hectares of mountainous territory, 54.2% are covered with primary vegetation above the national mean (49%) (Table 5), 80% of the primary vegetation of the mountains correspond to seven types of vegetation: Oak Forest, Pine-Oak Forest, Low Deciduous Forest, Pine Forest, Rosetophilic Desert Scrub, Red Oak Forest, Pine-Oak Forest, Mesophilic Mountain Forest (Table 6; Figure 5).

Cuadro 5. Relación proporcional de la cobertura de los tipos de vegetación natural en las zonas de montaña en México y su nivel de representatividad en ANP.

Table 5. Coverage ratios by type of natural vegetation in the mountainous areas of Mexico and their level of representativity in NPAs.

Vegetación y Uso del Suelo (INEGI, 2009)	Superficie Total (ha)	Proporción de México (%)	Proporción en ANP (%)	Superficie en Montaña (ha)	Proporción de Montaña (%)	Proporción en ANP (%)
Vegetación Natural	137 856 247	71.0	14.2	16 396 163	11.9	17.0
Vegetación Primaria	95 129 711	49.0	16.6	10 908 378	11.5	18.7
Vegetación Secundaria	42 726 536	22.0	8.9	5 487 786	12.8	13.7
Usos Antrópicos	56 343 365	29.0	6.1	1 635 326	2.9	9.1
Total	194 199 612	100	11.8	18 031 490	9.3	16.3

## Vegetación y uso del suelo

La capa de vegetación y uso del suelo (INEGI, 2009) indica que en México hay 51 tipos de vegetación que equivalen a 137 856 247 ha; es decir, 71% del territorio nacional; la primaria cubre 49%, seguida de los usos antrópicos con 29%; esta última cifra corresponde con la media mundial de 30% (MEA, 2005). La vegetación natural cubre 16 396 163 hectáreas en las montañas; esto es 11.9% de la existente en el país, mientras que la vegetación primaria representa 11.5% del total. Sobresale que los usos antrópicos se registran en 29% de las montañas, muy por debajo del valor que citan Kapos *et al.* (2000) en ese tipo de ecosistemas en el mundo (13.3%), lo que se puede explicar por la dificultad que representa la pendiente pronunciada para la realización de actividades productivas, excepto la actividad ganadera en agostaderos, por lo que la cubierta de vegetación secundaria constituye casi 13% del total nacional (Cuadro 5).

La vegetación natural incluye seis tipos (75.3%): Bosque de Encinos, Selva Baja Caducifolia, Bosque de Pino-Encino, Bosque de Pino, Bosque de Encino-Pino y Bosque Mesófilo de Montaña, los cuales están representados con valores de 16.2, 12.8, 14.0, 13.4, 16.1 y 17.2 % de su cobertura en ANP, respectivamente.

En cuanto a la vegetación primaria, en las montañas se distribuyen 43 de los 51 tipos identificados para México; los faltantes son Selva Mediana Perennifolia, Matorral de Coníferas, Selva Baja Perennifolia, Vegetación de Petén, Vegetación de Dunas Costeras, Vegetación Halófila-Hidrófila, Selva Baja Espinosa Subperennifolia y Matorral Sarco-crasicaule de Neblina; que equivalen a 1.7% de las 95 129 711 hectáreas de vegetación primaria del país (cuadros 5 y 6).

De las 20 109 804 hectáreas del territorio de montañas, 54.2% está cubierto con vegetación primaria, por encima de la media nacional (49%) (Cuadro 5), 80% de la vegetación primaria de las montañas corresponde a siete tipos de vegetación: Bosque de Encino, Bosque de Pino-Encino, Selva Baja Caducifolia, Bosque de Pino, Matorral Desértico Rosetófilo, Bosque de Encino-Pino, Bosque Mesófilo de Montaña (Cuadro 6; Figura 5).

Los seis tipos de vegetación de zonas de montaña que no están representados en las ANP suman 103 328 hectáreas, lo que significa 0.5% de la superficie montañosa del país. Mientras que nueve tipos de vegetación, entre los que está el Bosque de Pino con una superficie total de 1 599 186 hectáreas son omisiones de conservación, pues su presencia en ANP está por debajo de la media nacional protegida (12%). Finalmente, los 29 tipos de vegetación primaria restantes, cuya cobertura es 45.8% de las zonas de montaña tienen una distribución superior a la media nacional protegida en ANP (Cuadro 6, Figura 5).

The six types of vegetation of mountain areas which are not represented in the NPAs add up to 103 328 hectares, amounting to 0.5% of the mountainous surface of the country, while nine types of vegetation, including the Pine Forest with a total surface of 1 599 186 hectares are conservation omissions, since their presence in NPAs is below the national protected mean (12%). Finally, the remaining 29 types of primary vegetation, covering 45.8% of the mountain areas have a distribution above the national protected mean in NPs (Table 6, Figure 5).

Mountains are crucial for humankind, since they provide between 60 and 80% of the world resources of fresh water for domestic, agricultural, and industrial consumption; furthermore, they are an essential motor of food safety and clean energy. Also, they provide important minerals and the genetic resources of the main food crops, and, indeed, mountain agriculture is intrinsically sustainable because it is small scale and has a low carbon trace. A third of all NPAs are located in the mountain basins and are a reliable source of water for many large cities in the world. Because the mountains are among the regions most sensitive to climate change, they act as early alert systems (Kohler *et al.*, 2012).

The United Nations' Food and Agriculture Organization (FAO, 2002) records that 40% of the 720 millions of people who live on the mountains are vulnerable to food unsafety, and half of them suffer from chronic hunger. The caloric needs are greater in high areas, where the growth seasons are shorter. Furthermore, most of their 250 inhabitants cannot migrate to the mountains toward the lowlands because these, being overpopulated, cannot absorb them (Kohler *et al.*, 2012). Social marginalization is a problem that becomes worse in the southeastern states, which generates a strong pressure on the natural systems that results in high deforestation rates (Kolb, 2013). Mountain areas are very sensitive ecosystems, given the torrential rain patterns that occur in them, which, along with the steep slope of these ecosystems, give rise to severe problems of erosion and loss of biodiversity.



Cuadro 6. Relación proporcional de la cobertura de los tipos de vegetación primaria en las zonas de montaña en México y su nivel de representatividad en ANP.

Table 6. Coverage ratios by types of primary vegetations in the mountain areas of Mexico and their level of representativity in NPAs.

Vegetación Primaria	Superficie Total (ha)	Proporción en ANP (%)	Superficie de Montaña (ha)	Proporción de Montaña (%)	Proporción de Montaña en ANP (%)
Manglar	847 939	53.0	14	0.002	0
Pastizal Gipsófilo	41 353	16.7	66	0.2	0
Mezquital Tropical	138 627	5.5	254	0.2	0
Bosque de Mezquite	246 568	2.7	3 218	1.3	0
Vegetación Gipsófila	17 606	17.6	4 946	28.1	0
Matorral Subtropical	1 006 281	1.5	94 830	9.4	0
Pastizal Halófilo	1 705 569	4.7	786	0.05	1.6
Mezquital Desértico	2 057 394	1.0	3 618	0.2	5.6
Bosque de Galería	20 088	6.7	661	3.3	7.3
Bosque de Táscate	146 132	5.9	19 070	13.1	7.8
Matorral Desértico Micrófilo	19 141 305	7.6	88 379	0.5	8.7
Matorral Rosetófilo Costero	437 220	35.1	16 941	3.9	8.8
Pastizal Natural	6 104 592	7.2	169 633	2.8	10.3
Bosque de Pino	5 112 625	11.6	1 299 634	25.4	11.1
Bosque de Cedro	1 998	13.2	465	23.2	11.8
Selva Mediana Subperennifolia	1 539 444	33.0	44 549	2.9	13.0
Selva Baja Caducifolia	6 254 673	12.4	1 457 377	23.3	13.3
Selva Alta Perennifolia	1 340 292	31.0	262 926	19.6	15.2
Bosque de Encino	6 620 657	15.5	2 052 390	31.0	15.6
Matorral Crassicaule	1 176 515	11.2	58 033	4.9	16.0
Bosque de Pino-Encino	5 307 244	17.6	1 656 645	31.2	16.3
Selva de Galería	3 299	46.0	53	1.6	16.9
Bosque de Encino-Pino	2 974 994	20.6	851 714	28.6	20.1
Matorral Espinoso Tamaulipeco	2 530 579	3.4	1 836	0.1	22.1
Matorral Desértico Rosetófilo	10 324 479	15.6	886 382	8.6	22.8
Chaparral	1 797 705	14.1	282 962	15.7	23.9
Selva Mediana Subcaducifolia	427 311	36.6	96 408	22.6	24.0
Bosque Mesófilo de Montaña	847 576	24.4	466 812	55.1	24.9
Matorral Sarcocaulo	5 193 449	26.6	441 357	8.5	26.3
Vegetación de Galería	150 067	23.8	3 576	2.4	27.9
Selva Mediana Caducifolia	137 757	25.7	14 829	10.8	31.3
Selva Baja Espinosa Caducifolia	226 501	7.2	1 117	0.5	34.3
Palmar Natural	17 501	8.7	1 488	8.5	40.8
Matorral Submontano	2 350 759	25.6	454 844	19.3	41.6
Bosque de Oyamel	124 562	61.9	34 853	28.0	60.3
Bosque de Ayarín	26 362	52.3	12 730	48.3	60.7
Sabana	191 089	13.7	1 118	0.6	80.6

Continúa Cuadro 6..

Continuación Cuadro 6...

Vegetación Primaria	Superficie Total (ha)	Proporción en ANP (%)	Superficie de Montaña (ha)	Proporción de Montaña (%)	Proporción de Montaña en ANP (%)
Selva Baja Subcaducifolia	45 980	46.7	2 784	6.1	82.1
Vegetación de Desiertos Arenosos	2 154 486	40.1	46	0.002	88.2
Matorral Sarco-Crasicaule	2 293 657	55.4	108 627	4.7	89.8
Vegetación Halófila Xerófila	2 361 346	36.3	1 718	0.1	91.7
Selva Alta Subperennifolia	58 737	92.1	334	0.6	95.7
Pradera de Alta Montaña	16 709	98.1	8 357	50.0	99.2
<b>Total</b>	<b>93 519 027</b>	<b>16.3</b>	<b>10 908 378</b>	<b>11.7</b>	<b>18.7</b>

Fuente: INEGI, 2009.

Source: INEGI, 2009.

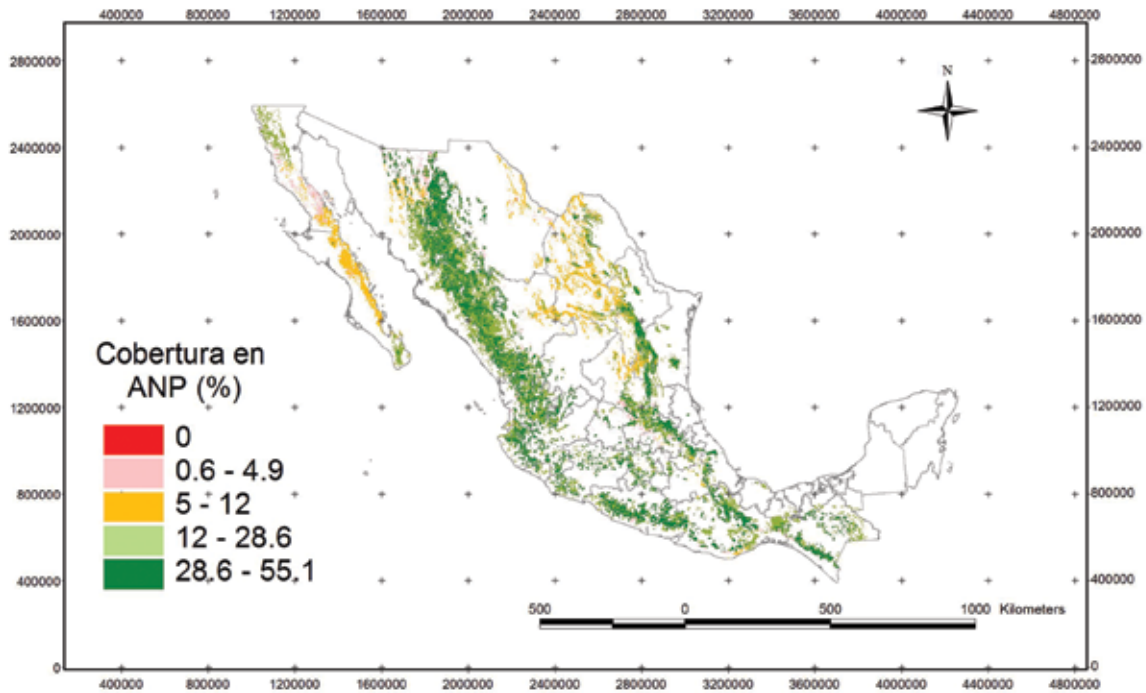


Figura 5. Nivel de representatividad de la vegetación primaria de las montañas de México en las ANP.

Figure 5. Level of representativity of the primary vegetation of the mountains of Mexico in the NRs.

Las montañas son cruciales para la humanidad, ya que proporcionan entre 60 y 80% de los recursos mundiales de agua dulce para el consumo doméstico, agrícola e industrial; además son un motor fundamental de la seguridad alimentaria y la energía limpia. También son fuentes importantes de minerales y de los recursos genéticos para los principales cultivos alimentarios y, de hecho, la agricultura de montaña es intrínsecamente sostenible debido a su carácter de pequeña escala y baja huella de carbono. Un tercio de todas las ANP se ubican en las cuencas montañosas



y son una fuente segura de agua para muchas de las grandes ciudades del mundo. Debido a que las montañas se localizan entre las regiones más sensibles al cambio climático actúan como sistemas de alerta temprana (Kohler *et al.*, 2012).

La Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO, 2002) registra que 40% de los 720 millones de personas que viven en las montañas son vulnerables a la inseguridad alimentaria, de los cuales la mitad padece hambre crónica. Las necesidades calóricas son mayores en las zonas altas, en las que las estaciones de crecimiento son más cortas. Tampoco puede la mayoría de sus 250 millones de habitantes emigrar de las montañas hacia las tierras bajas debido a que por su sobrepoblación, estas no pueden absorberlos (Kohler *et al.*, 2012). La marginación social es un problema que en México se acentúa en los estados del sureste, lo que genera una fuerte presión sobre los ecosistemas naturales que se traduce en elevadas tasas de deforestación (Kolb, 2013). Las zonas de montaña resultan ecosistemas muy sensibles dado el patrón de lluvias torrenciales que presentan, que aunado a la pronunciada pendiente de estos ecosistemas genera severos problemas de erosión y pérdida de la biodiversidad.

## CONCLUSIONES

El presente análisis de vacíos y omisiones en conservación permite visualizar cuáles son las ecorregiones terrestres que tienen una alta importancia en la representación de las montañas mexicanas, que en conjunto abarcan la mitad del territorio nacional (49%). La Sierra Madre Occidental es la de mayor cobertura (18%) seguida de la Sierra Madre del Sur (9.6%), el Eje Neovolcánico (7.2%) y la Sierra Madre Oriental con (5.4%).

Las Sierras Templadas son la ecorregión mejor representada dentro de las montañas con (30.1%). Sin embargo, los ecosistemas de montaña no lo están en el sistema actual de áreas naturales, pues solo 15.6% de su extensión queda dentro de las áreas protegidas, de ellas las presentes en la Sierra Madre Occidental son las más continuas y extensas, aunque poco numerosas, en contraste con las del Eje Neovolcánico Transversal que a pesar de ser muchas están muy fragmentadas.

La Sierra Madre del Sur es la más biodiversa y la segunda en extensión (9.6%), pero es la que menor grado de vegetación primaria presenta, y la que más severamente ha sido afectada por las actividades antrópicas.

Asimismo, este estudio ha facilitado la identificación de áreas prioritarias para la conservación que se ubican fuera de las áreas protegidas, pero que poseen amplias combinaciones de vegetación primaria como el caso de la Sierra Madre Oriental.

## CONCLUSIONS

This analysis of conservation gaps and omissions allows visualization of the terrestrial ecoregions that have a major representation on the Mexican mountains, which as a whole cover half of the national territory (49%). The Sierra Madre Occidental has the highest coverage (18%), followed by the Sierra Madre del Sur (9.6%), the Neovolcanic Axis (7.2%) and the Sierra Madre Oriental, with 5.4%.

The Temperate Sierras are the ecoregion best represented on the mountains, with a coverage of 30.1%. However, mountain ecosystems are not best represented in the current natural areas system, given that only 15.6% of them are located within protected areas; of these, the ones in the Sierra Madre Occidental are the most continuous and extensive, although they are few in number, unlike those of the Transversal Neovolcanic Axis, which, though high in number, are very fragmented.

The Sierra Madre del Sur is the one with the highest biodiversity and is second in extension (9.6%), but has the lowest amount of primary vegetation and is the most severely affected by anthropogenic activities.

Furthermore, this study has facilitated the identification of priority areas for conservation that are located outside natural protected areas but which possess large combinations of primary vegetation, e.g. the Sierra Madre Oriental.

Finally, it is worth noting that mountain ecosystems are crucial for the maintenance of environmental services, the protection of biodiversity, food safety, and the ecological processes on which not only those who live in these ecosystems but all of us depend. 🌿

*End of the English version*



Por último, cabe señalar que los ecosistemas de montaña son cruciales para el mantenimiento de los servicios ambientales, la protección de la biodiversidad, la seguridad alimentaria y los procesos ecológicos de los cuales dependemos todos, no solo quienes habitan en estos ecosistemas. 🌿

## REFERENCIAS

- Bezaury-Creel, J. E., J. F. Torres y N. Moreno. 2007. Base de datos geográfica de áreas naturales protegidas estatales del Distrito Federal y municipales de México para el análisis de vacíos y omisiones en conservación. 1 capa Arctifio + 1 archivo de metadatos. TNC-Pronatura-Conabio-Conanp, México, D.F. México s/p.
- Cantú, C., R. G. Wright, J. M. Scott y E. Strand. 2003. Conservation assessment of current and proposed reserves of Tamaulipas state, Mexico. *Natural Areas Journal* 23: 220-228.
- Cantú, C., R. G. Wright, J. M. Scott and E. Strand. 2004. Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity. *Biological Conservation* 115: 411-417.
- Cantú, C., F. N. Gonzalez, P. Koleff, J. I. Uvalle, J.G. Marmolejo J. García H., L. Rentería A., J. Delgado V., C. Reséndiz I y E. Ortiz h. 2011. El papel de las Unidades de Manejo Ambiental en la Conservación de los Tipos de Vegetación de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(6): 113-124.
- Cantú, C., J. Marmolejo, J. Uvalle, A. Moreno y F. González. 2011. Diseño de Corredores en el Estado de Guerrero, México. Reporte Técnico para la Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. México. 61 p.
- Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). 1997. Regiones Ecológicas de América del Norte: hacia una perspectiva común. Comisión para la Cooperación Ambiental. <http://www.ccc.org> (13 de marzo de 2013).
- Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. In: Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta y J. de la Maza. (comps.). *Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, D.F. México. pp. 87-108.
- Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). 1997. Regiones Ecológicas de América del Norte: hacia una perspectiva común. Comisión para la Cooperación Ambiental. <http://www.ccc.org> (13 de marzo de 2013).
- Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Conabio-INEGI). 2010. Datos vectoriales de Localidades de la República Mexicana. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (24 de Febrero del 2013).
- Dinerstein, E., D. M. Olson, D. J. Graham, A. Webster, S. Primm, M. Bookbinder, M. Forney and G. Ledec. 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean. *World Wildlife Fund Report to the World Bank/Laten*. Washington, DC USA. 116 p.
- Espinosa, D., S. Ocegueda. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. In: Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta y J. de la Maza. (comps.). *Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, D.F. México. pp. 33-65.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2002. *International Year of the Mountains*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 75 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía-Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Instituto Nacional de Ecología (INEGI-Conabio-INE). 2007. *Ecorregiones terrestres de México*, escala 1:1,000,000. INEGI, Conabio, INE. México, D.F. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1998. Modelo de elevación digital de alta resolución LIDAR, tipo terreno, escala 1:250,000. INEGI. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2001. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso de suelo y vegetación, Serie II (continuo nacional), escala 1:250,000. INEGI. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, Serie 3 (continuo nacional), escala 1:250 000. INEGI. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI). 2009. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie IV (continuo nacional). Aguascalientes, Ags. México. s/p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI). 2011. Conjunto de datos vectoriales de sistema de topomorfías, serie 3 (continuo nacional), escala 1:250 000. Aguascalientes, Ags. México. s/p.
- Kapos, V., J. Rhind, M. Edwards, M. F. Price and C. Ravilious. 2000. Developing a map of the world's mountain forests. In: Price, M. F. and N. Butt (eds.). *Forests in Sustainable Mountain Development: A State-of-Knowledge Report for 2000*. CAB International. Wallingford, UK. pp. 4-9.
- Kohler T; Pratt J; Debarbieux B; Balsiger J; Rudaz G; Maselli D; (eds) 2012. *Sustainable Mountain Development, Green Economy and Institutions. From Rio 1992 to Rio 2012 and beyond. Final Draft for Rio 2012*. Prepared with an international team of experts.
- Kolb, M. 2013. Dinámica del uso del suelo y cambio climático en la planeación sistemática para la conservación: un caso de estudio en la cuenca Grijalva-Usumacinta. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 296 p.
- Koleff, P., M. Tambutti, I. J. March, R. Esquivel, C. Cantú, A. Lira-Noriega *et al.* 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México, en *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-Haas (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.
- Kohler, T., J. Pratt, B. Debarbieux, J. Balsiger, G. Rudaz and D. Maselli (eds) 2012. *team of experts* s/p.
- Llorente-Bousquets, J. and A. Luis-Martínez. 1993. Conservation - oriented analysis of Mexican butterflies: Papilionidae (Lepidoptera Papilionidae). In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot and J. Fa. (eds.). *Biological Diversity of Mexico: Origins and distributions* Oxford University press. New York, NY USA. pp. 147-77.
- Loucks, C., N. Brown, A. Loucks and K. Cesario. 2003. USDA forest service roadless areas: Potential biodiversity conservation reserves. *Conservation Ecology* 7(2):1-5.
- Millenium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Summary for decision makers. In *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island press. Washington, DC USA. pp. 1-24.
- Olson, D.M. and E. Dinerstein. 1998. The Global 200: A representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology* 12:502-515.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burgess, G. V. N. Powell, E. C. Underwood, J. A. D'amico, I. Itouca, H. E. Strand, J. C. Morrison, C. J. Louckson, T. F. Allnutt, T. H. Ricketts, Y. Kura, J. F. Lamoreux, W. W. Wettengel, P. Hedao and K. R. Kassem. 2001. *Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth*. *BioScience*. 51 (11):933-938.
- Pompa, M. 2008. Análisis de la deforestación en ecosistemas montañosos del noroeste de México. *Avances en Investigación Agropecuaria* 12(2): 35-43.





- Ricketts, T. H. 1999. Terrestrial ecorregiones of Northamerica: Conservation Assessment Island Press. Washington DC. USA. 485 p.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica mexicana. *Acta Botánica Mexicana* 14:3 21
- Sánchez-Cordero, V., A. T. Peterson y P. Escalante-Pliego. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. *In: Hernández H., M., A. N. García-Aldrete, F. Álvarez y M. Ulloa (eds.) Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad.* Ediciones Científicas Universitarias, Fondo de Cultura Económica/ Academia Mexicana de Ciencias/Instituto de Biología, UNAM. México, D. F. México. pp. 359-379.
- Sánchez, O. 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. *In: Sánchez, Ó., E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (eds.)* Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. México. 112 p.
- Scott, J. M., F. Davis, B. Csuti, R. Noss, B. Butterfield, C. Groves, H. Anderson, S. Caico, F. D'Erchia, T. C. Edwards, J. Ullman and R. G. Wright. 1993. Gap Analysis: A geographic approach to the protection of biological diversity. *Wildlife Monographs* 123: 3-41.
- Spehn, E. M., K. Rudmann-Maurer, C. Körner, D. Maselli. (eds.) 2010. *Mountain Biodiversity and Global Change.* GMB-DIVERSITAS. Basel, Switzerland. 59 p.
- United Nations Environment Programme-World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). 2002. *Mountain Watch: environmental change & sustainable development in mountains.* Cambridge, UK. 80 p.
- Valero, A. 2001. "Sierra Madre Del Sur pine-oakforests" [www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/nt/nt0309ull.html](http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/nt/nt0309ull.html) (marzo de 2013).
- Villaseñor, J. L., G. Ibarra-Manríquez, J. A. Meave and E. Ortiz. 2005. Higher taxa as surrogates of plant biodiversity in a megadiverse country. *Conservation Biology* 19:232-238.
- Viviroli, D., R. Weingartner, and B. Messerli, 2003: Assessing the hydrological significance of the world's mountains. *Mountain Research and Development* 23(1): 32-40.
- Wallace, R. J., K. DeVore, P. Lifton-Zoline, J. Lifton-Zoline 2012. *Sustainable Mountain Development in North America. From Rio 1992 to Rio 2012 and beyond.* Mountain Partnership Report and Aspen International Mountain Foundation. Aspen, CO. USA. 95 p.



