

Distribución espacial del uso/cubierta del suelo y degradación forestal en la reserva de la biosfera Sierra Gorda de Guanajuato

Spatial distribution of land use/cover and forest degradation in Sierra Gorda of Guanajuato biosphere reserve

Azucena Pérez-Vega^{*†}, Fernando Rocha Álvarez^{*}, Héctor Hugo Regil García^{*}

RESUMEN

La Reserva de la Biosfera de la Sierra Gorda de Guanajuato (RBSGG) constituye, por su riqueza biológica, el área natural más importante del estado. Mediante interpretación visual de ortofotos y procesamiento de imágenes SPOT 5, se determinó el cambio de uso y cubierta del suelo. Se calculó el grado de degradación forestal (DF) por medio de la correlación del grado de conservación del arbolado y la información de biomasa aérea obtenida de los puntos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, así como determinación de los cambios surgidos durante 2004-2011 e información de erosión del suelo. Para el total de las cubiertas vegetales naturales se observó que el 45% presenta una DF de moderada a muy alta, el 16% presenta un nivel bajo de DF y el 13% no presenta ninguna DF. El área de estudio cuenta con la categoría más alta en el Sistema de Áreas Naturales Protegidas del país, por lo que los resultados sugieren un muy deficiente uso y manejo de los recursos naturales en su interior.

ABSTRACT

Sierra Gorda of Guanajuato Biosphere Reserve (SGGBR), is the most important natural area from the State of Guanajuato mostly due to its biological richness. Visual interpretation of orthophotos and SPOT 5 image processing were used to determine land use/cover change for 2004 – 2011 period. Forest degradation (FD) was calculated by correlation of tree conservation degree and areal biomass points data information from National Forest Inventory and Soil; as well land use/cover change determination and soil erosion information during 2004 – 2011 period. Of total vegetation cover, 45% presented moderate to very high values of FD, 16% showed low FD and 13% presented no degradation. Considering that study area holds the highest category in the National System Natural Protected Areas, results suggest there is a rather deficient use and management of natural resources.

Recibido: 27 de junio de 2016
Aceptado: 1 de noviembre de 2016

Palabras clave:

Uso de suelo; cubierta de suelo; degradación forestal; áreas naturales protegidas.

Keywords:

Land use; land cover; forest degradation; protected natural area.

Cómo citar:

Pérez-Vega, A., Rocha Álvarez, F., & Regil García, H. H. (2016). Distribución espacial del uso/cubierta del suelo y degradación forestal en la reserva de la biosfera Sierra Gorda de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 26(NE-2), 33-44. doi: 10.15174/au.2016.1500

INTRODUCCIÓN

Resulta evidente que para lograr una adecuada gestión de los recursos naturales en todos los paisajes naturales, pero en particular en las Áreas Naturales Protegidas (ANP), es necesario conocer la distribución de lo que en ellas está contenido por lo que la elaboración cartográfica de uso y cubierta del suelo (UCS) es un insumo fundamental que permite realizar un inventario de las diferentes cubiertas de ocupaciones del suelo y de los ecosistemas prevalentes, así como de cuantificar los porcentajes de arbolado. Sumado a ello, un análisis de los cambios en el UCS muestra la tendencia de pérdida y ganancia de la cubierta, para tener un acercamiento al estado de conservación o degradación de la cubierta del suelo.

La cartografía del UCS detallada es fundamental para gestionar la protección de las cubiertas naturales, dirigir actividades de conservación y restauración de las mismas, ya que constituyen hábitat para la biodiversidad y proveen servicios ambientales, tales como la captura y almacenamiento de

* Departamento de Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato. Av. Juárez núm. 77, Col. Centro, Guanajuato, Guanajuato, México, C.P. 36000. Tel.: (473) 10 20 100. Correos electrónicos: azu_pvega@hotmail.com; regil_hh@yahoo.com.mx

† Autor de correspondencia.

carbono, regulación del ciclo hidrológico, recarga de acuíferos, formación y conservación del suelo, entre otros. Asimismo, la mayor parte de la población local depende del abastecimiento de bienes forestales, por ejemplo, madera para la construcción, el alimento y la medicina (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2009a; Simula & Mansur, 2011).

Cuando existe degradación de las cubiertas naturales, estas reducen su capacidad de producción de bienes y servicios ambientales, por ejemplo, la modificación, pérdida total o disminución en la densidad en la presencia de especies vegetales, disminuye la capacidad de recarga de mantos acuíferos, aumenta el dióxido de carbono disponible en la atmósfera, disminuye la capacidad de retención de suelos y, desde luego, existe una irreversible pérdida de belleza escénica. A pesar de ser aceptada ampliamente esta relación, la determinación de vincular el estado y dinámica de los sistemas naturales con la dotación y calidad de un servicio ambiental aún es complicado determinar los mecanismos de manejo y gestión de los recursos naturales, considerando los aspectos antes mencionados (Landell-Mills & Porras 2002; McCauley, 2006; Wunder, 2005). La degradación forestal constituye un problema que ha tenido relevancia debido al alcance y acelerado crecimiento, es comparable con los procesos de deforestación que desde el año de 1990 hasta 2015 han alcanzado 129 000 000 ha en el mundo, extensión equivalente a la superficie de Sudáfrica (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2015). Sin embargo, la degradación presenta mayores dificultades para ser definida y evaluada (Simula & Mansur, 2011), ya que para evaluar la degradación es necesario considerar aspectos complejos, como la diversidad biológica, alteración de la estructura, funcionalidad, biomasa y composición de las especies, porcentajes de arbolado, condiciones químicas y físicas de los suelos, historia de los cambios de la cubierta, manejo del ecosistema por los pobladores y productividad del bosque, en comparación con un bosque conservado (Organización Internacional de Maderas Tropicales [OIMT], 2002).

Además, la degradación forestal ha sido subestimada al ser considerada únicamente como un paso a la deforestación (Skutsch, 2013).

Diferentes estudios muestran una reducción en la tasa de deforestación de las cubiertas naturales en las últimas décadas, en comparación con lo mostrado en las décadas anteriores a los años ochenta. La FAO (2015) menciona que en los últimos veinticinco años la tasa de deforestación ha disminuido en más del 50%, de 0.18% en la década de los años noventa a 0.08% durante el periodo 2010 – 2015. En bosques

tropicales disminuyó de 2.1% a 1.6% de 1974 – 1981 a 1981 – 1991 (Mendoza & Dirzo, 1999), manteniendo una tasa de 1.3% del 1993 a 2000 (Mas *et al.*, 2004). Por ello, actualmente la mayor preocupación está centrada en la degradación forestal.

En el estado de Guanajuato, las cubiertas vegetales originales han sido transformadas y degradadas de forma importante. Guanajuato es uno de los estados con mayor porcentaje de cubierta transformada, con un 50% (Zamudio, 2012) o 57% de superficie (Palacio *et al.*, 2000). La mayor transformación la constituyen las zonas agrícolas en el sur del estado; por su parte, los bosques de encinos originalmente ocupaban el 20% y actualmente cubren solo un 10%. Los bosques de coníferas originalmente ocupaban el 6% y actualmente ocupan un 5%, estos no han sido tan deteriorados porque ocupan las zonas más inaccesibles (Zamudio, 2012). En cuanto a la distribución de cubiertas vegetales, los bosques de encinos, pino-encino, encino-pino se ubican al norte y noreste del estado. En la región noreste se localiza superficies de selva baja caducifolia y también al sur del estado, constituyendo parches dentro de la inmensa matriz de áreas de cultivo en el Bajío guanajuatense (Zamudio, 2012). La porción noreste del estado representa la mayor diversidad de cubiertas naturales: matorrales submontanos, matorrales cracicaules, selvas bajas caducifolias y bosques templados: bosque mesófilo de montaña, bosques de pino, pino-encino, encino-pino y bosques de encinos (Pérez-Vega & Rocha, 2015).

La Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato (RBSGG) está localizada en la porción nororiental de la entidad y representa el 7.8% de la superficie estatal, con 236 883 ha. En particular, se distribuye en cinco municipios: Xichú (37%), Victoria (30.9%), San Luis de la Paz (21.9%), Atarjea (8.6%) y Santa Catarina (0.9%). Limita al oriente con el estado de Querétaro y al norte con San Luis Potosí (figura 1).

La Sierra Gorda de Guanajuato fue decretada como Área Natural Protegida con categoría “reserva de la biosfera”, a nivel federal, en el 2007, por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). Actualmente, la reserva no cuenta con un plan de manejo aprobado y la problemática es acentuada por la presencia de 276 localidades en su interior, las cuales realizan predominantemente actividades primarias. Solo cuenta con una carretera pavimentada en la porción sur, que conecta las localidades más pobladas: Xichú, Santa Catarina y Atarjea. El resto de las vías de acceso son de terracería y comunican poblaciones menores de 200 habitantes, que comprenden el 83% de localidades asentadas en la RBSGG.

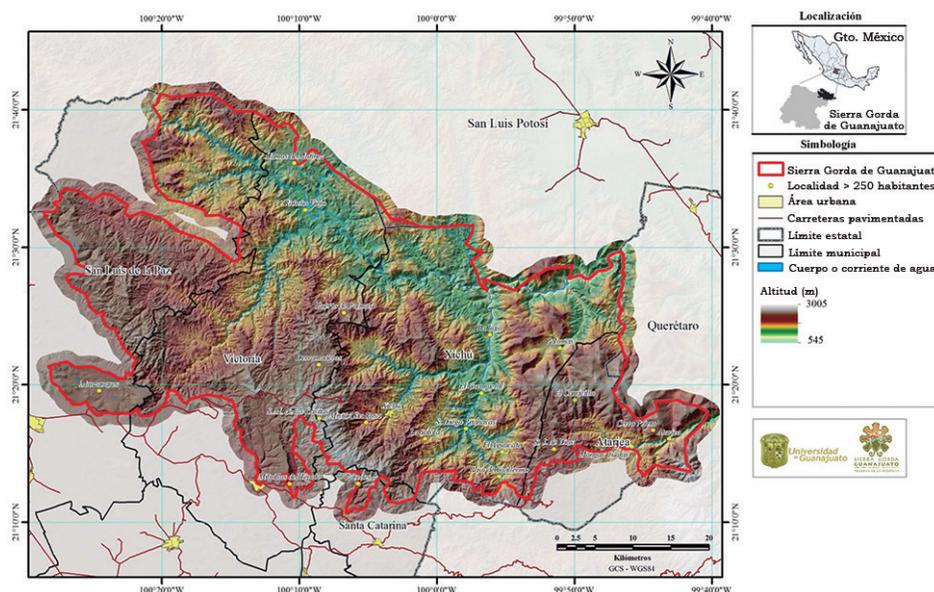


Figura 1. Ubicación de la RBSGG.
 Fuente: Edición cartográfica con información de INEGI (2013) y Conanp (2013).

Los trabajos cartográficos sobre UCS para la RBSGG antes de este trabajo estaban constituidos por la información 1:250 000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 1970, 2002, 2007, 2011 (INEGI, 2000, 2005, 2009 y 2013a), el Inventario de Gran Visión a escala 1:100 000 de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos 1991-1992 (SARH, 1992), el cual cuenta con solo siete categorías de UCS; la cartografía a pedido expreso de la Conanp (2013), para la propuesta del plan de manejo de la RBSGG, que fue realizado por la Universidad Autónoma de Querétaro en el 2010 a escala 1:100 000 con 19 categorías de UCS y esfuerzos cartográficos por parte de instituciones estatales, figurando el Instituto de Ecología del Estado a escala 1:50 000 con fechas 2004, 2009 y 2014, constituyendo estos últimos coberturas con escala más fina, sin contar la cartografía del presente trabajo.

El objetivo de este trabajo fue elaborar una cartografía que permita un acercamiento en la determinación de la degradación forestal en el periodo 2003-2011, haciendo uso de los insumos espaciales generados y los existentes de información sobre el tema por otras fuentes para la RBSGG.

MATERIALES Y MÉTODOS

El grado de degradación forestal fue determinada mediante la correlación del porcentaje del arbolado,

la información de biomasa aérea obtenida de los puntos Inventario Nacional Forestal y Suelos (INFyS), así como determinación de los cambios surgidos durante 2004-2011 e información de erosión del suelo.

Evaluar la degradación forestal implicó la creación de cuatro productos: 1) elaboración cartográfica del UCS 2004 - 2011 (con porcentajes de arbolado), 2) cuantificación de los cambios y su intensidad de los cambios de uso y cubierta del suelo (CUCS), a nivel categoría y transición (Aldwaik & Pantius, 2012); 3) relación entre el CUCS y datos de biomasa del Inventario Nacional Forestal y Suelos (INFyS), 2004 - 2009 (Conafor, 2009b) y, 4) generación del mapa de degradación forestal 2011, a partir de la suma de los pesos ponderados de las capas anteriormente descritas: tipos de vegetación con porcentajes de arbolado, intensidad de los cambios de degradación de la cubierta vegetal 2004 - 2011 y el grado de erosión del suelo, obtenido a partir de cartografía de INEGI (2013b).

Cubierta de estado e intensidad de cambio de uso y cubierta del suelo

La interpretación del UCS se realizó de manera visual sobre imágenes aéreas y satelitales, considerando el color, textura y patrones de los elementos de las imágenes. Los dos primeros años, 2004 y 2009, fueron

elaborados utilizando ortofotos de alta resolución (1.5 m). Para el tercer año, 2011, se utilizaron imágenes SPOT-5 (10 m). El proceso cartográfico se realizó a una escala de 1:10 000. La unidad mínima cartografiable fue de 1600 m² (Salitchev, 1979), para las cubiertas naturales y en las categorías de asentamiento humano y agricultura; debido a su papel relevante como uso antrópico se presentó la unidad mínima cartografiable de 400 m².

Se estimó el porcentaje de arbolado para 2004 y 2011 con tres rangos basados en FAO (1996) (tabla 1).

De los años 2009 y 2011 se realizó una fotointerpretación simultánea entre ortofotos e imágenes SPOT 5, para tener la actualización con base en la información de la imagen SPOT, pero apoyándose en la fina resolución de la ortofoto 2009. La cartografía resultante de la interpretación visual del UCS fue verificada a partir de 140 sitios en campo. El UCS 2004 se elaboró utilizando el método de clasificación interdependiente propuesto por FAO (1996), tomando como referencia el UCS 2011.

Se realizó el cálculo de CUCS para los años 2004 y 2011, para cuantificar las superficies con cambios su intensidad. Este cálculo se realizó en el *software* DINAMICA EGO, a partir de la metodología de intensidad de cambio propuesta por Aldwaik & Pontius (2012). El análisis de intensidad de cambio permite analizar la magnitud de las transiciones en diferentes intervalos de tiempo. Dicho método también facilita analizar la intensidad de cambio entre diferentes categorías de cubierta y transiciones entre una categoría y el cambio a otra cubierta, facilitando ver las tendencias e intensidades de cambios en escalas anidadas de detalle.

Análisis de la relación del UCS con datos de biomasa

Se utilizaron los valores de biomasa aérea del INFyS (Conafor, 2009b); la biomasa aérea fue obtenida considerando: densidad de arbolado, cobertura, edad de crecimiento medio anual del arbolado (solo para algunos géneros de coníferas), uso, vigor y afectación del arbolado y de su regeneración general. Condiciones del sitio: rasgos orográficos, altitud, pendiente, fisiografía, uso de suelo, profundidad del suelo, presencia de erosión y el grado de afectación de las mismas. Los puntos INFyS es una red de puntos equidistantes cada 5 km para todo el país, con base en la carta de Uso del Suelo y Vegetación (USV) Serie III y IV a escala 1:250 000 elaborada por INEGI 2002 y 2007 (2009b, 2012).

Se obtuvo la relación entre la cartografía UCS 2011 y puntos de biomasa del INFyS a partir de un análisis de diagrama de caja, el cual considera un análisis de la distribución de los datos en un histograma representado por cajas, que significan los porcentajes de los datos en cuartiles, donde los extremos tanto inferior como superior de la caja representan el primer y tercer cuartil (25% y 75%) y la media destaca con una línea de mayor grosor (50%). Dicha representación permite expresar la representatividad de los valores de los datos de biomasa aérea, para cada tipo de categoría de la cubiertas del suelo (figura 2).

Con base en los puntos INFyS existentes para cada categoría de la cartografía UCS 2011, se evaluó la tendencia media y dispersión de los valores de biomasa aérea (t/ha) para calcular la relación entre la biomasa aérea (sitios INFyS) y porcentaje de arbolado para cada tipo de vegetación. Este análisis se realizó mediante el *software* estadístico R (figura 2).

Tabla 1.
Cobertura de arbolado para vegetación arborea.

Porcentaje de arbolado	Clave
10% a 40 %	Abierta
40% a 70%	Media
Mayor a 70%	Cerrada

Fuente: FAO (1996).

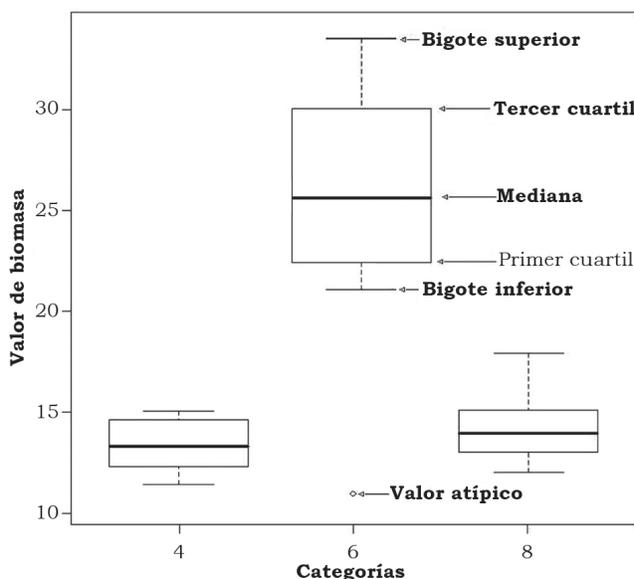


Figura 2. Componentes de un diagrama de caja.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis realizado mediante el diagrama de caja se considera esencial, ya que la relación entre la biomasa y el porcentaje de arbolado de cada cubierta expresa el estado de conservación de las cubiertas, determinando así cubiertas primaria y/o secundarias.

Con base en lo anterior, se tomaron como sitios de referencia las categorías con porcentaje de arbolado mayor a 70% (cerrado), así como los matorrales de alta densidad. A estos sitios de referencia se les asignó un peso de 1, representados por los sitios con mayor porcentaje de arbolado (mejor conservados). Conforme disminuye el porcentaje de arbolado el peso asignado disminuye en proporción al porcentaje del mismo (tabla 2).

La relación del análisis de caja entre los porcentajes de arbolado y la biomasa fueron relacionados con cambios de biomasa en la cubierta vegetal en el periodo de 2004 a 2011. Se asignaron valores positivos a los procesos de recuperación forestal, por lo tanto, entre mayor recuperación de biomasa tuvo la vegetación durante 2004 – 2011, se le asignan pesos positivos de 0 a 1, correspondiendo este incremento a un porcentaje de arbolado mayor de una fecha a otra (de 0% a 100%). Los valores nulos son asignados a categorías sin cambio. Finalmente, los valores negativos para cubiertas con pérdidas en el porcentaje de arbolado y biomasa disminuyen desde 0 hasta llegar a la pérdida total de la vegetación, -1, que ya es valorado como uso de suelo (tabla 3).

Tabla 2.
Pesos asignados a cada categoría en función del porcentaje de su cobertura de arbolado.

Cobertura de arbolado	Valor
(Cerrado) / Matorral conservado	1.00
(Medio)	0.55
(Abierto) / Matorral secundario	0.25
Uso de suelo	0.00

Fuente: Rocha (2015).

Tabla 3.
Pesos asignados en función del cambio en el índice de biomasa de las cartas USV 2004 y 2011.

Índice cambio biomasa	Valor
Máximo cambio positivo	1.00
Sin cambio	0.00
Máximo cambio negativo	-1.00

Fuente: Rocha (2015).

Determinación de la Degradación Forestal (DF)

La cartografía de la DF se realizó mediante la asignación de valores/ponderaciones tomando en cuenta los siguientes aspectos: 1. la relación entre los porcentajes de arbolado y la biomasa de los puntos INFyS; 2. la ponderación de los resultados de los cálculos de los cambios; y 3. la ponderación del mapa de erosión del suelo.

1. La relación entre los porcentajes de arbolado y la biomasa de los puntos INFyS. Se considera que el porcentaje de arbolado funciona como indicador indirecto de biomasa aérea para cada tipo de vegetación. Tomado sitios de referencia las categorías con porcentaje de arbolado mayor a 70% (cerrado) y los matorrales primarios, asignándoles peso de 1, que representa los sitios con mayor porcentaje de arbolado (mejor conservados) para cada tipo de vegetación (de 70% a 100%). Conforme va disminuyendo la cobertura de arbolado, el valor disminuye en proporción al porcentaje de esta, asignando un valor promedio al rango del porcentaje de arbolado (tabla 2).
2. La ponderación de los resultados de los cálculos de los cambios en la cubierta vegetal en el periodo 2004 a 2011. Los valores positivos corresponden a procesos de recuperación forestal, entre mayor recuperación de biomasa de la vegetación durante 2004 – 2011, se le asignan pesos positivos mayores, de 0 a 1, correspondiendo estos valores a la cantidad de arbolado que se recuperó (de 0% a 100%). Los valores nulos son asignados a categorías sin cambio. Finalmente los valores negativos son para cubiertas que sufrieron pérdidas, a mayor sea la cantidad de biomasa pérdida los valores disminuyen desde 0 hasta llegar a la pérdida total de la vegetación, -1, que ya es valorado como uso de suelo (tabla 3).
3. La ponderación del mapa de erosión del suelo, con cuatro grados de erosión del suelo. Se tomaron como sitios de referencia las zonas que no presentan erosión y les fue asignado un valor de 1, asociado a una mejor estructura forestal, conforme se incrementa los grados de erosión, disminuye la estructura forestal, por lo que el valor asignado también disminuye en proporción a los cuatro grados de erosión (tabla 4).

Los grados de degradación forestal fueron asignados de la siguiente manera.

Sin degradación forestal: áreas de cubierta arbórea cerrada o matorral primario presentes en suelos sin erosión o erosión leve.

Degradación forestal baja: áreas de cubierta arbórea cerrada o matorrales primarios sobre suelos con erosión moderada o fuerte, así como áreas de cubierta arbórea media en suelos sin erosión o erosión leve.

Degradación forestal moderada: áreas de cubierta arbórea cerrada en suelos muy fuertemente erosionados, así como áreas de cubierta arbórea media en suelos con erosión moderada y áreas de cubierta arbórea abierta o matorrales secundarios sin erosión del suelo o erosión leve.

Degradación forestal alta: áreas de cubierta arbórea abierta o matorral secundario sobre suelos con erosión moderada, así como áreas de cubierta arbórea media con fuerte o muy fuerte erosión del suelo.

Degradación forestal muy alta: áreas de cubierta arbórea abierta o matorrales secundarios en suelos con fuerte o muy fuerte erosión del suelo.

Tabla 4.
Pesos asignados para cada categoría de grado de erosión del suelo.

Grado erosión del suelo	Valor
Sin erosión	1.0
Leve	0.8
Moderada	0.6
Fuerte	0.4
Muy fuerte	0.2
Uso de suelo	0.0

Fuente: Rocha (2015).

RESULTADOS

Cartografía del uso y cubierta del suelo 2011

Los resultados del UCS en la RBSGG muestran una importante cubierta de vegetación natural con un 87% de la superficie. Las cubiertas naturales están representadas por los matorrales 39% matorral crasicaule (MC) y matorral submontano (MSM), y los bosques templados 37% bosque de pino (BP), bosque de encino (BQ) y bosque mesófilo de montaña (BMM), la selva baja caducifolia (SBC) con un 11%, y el resto lo constituyen los usos de suelo, 7% de Pz, 3% Agr/R y Agr/T, 2% SVeg y 1% de CA (figura 3).

La cartografía detallada 1:10 000 permitió obtener 29 categorías de UCS para 2011 (tabla 5).

Los ambientes templados con arbolados cerrados BMM, BP, bosque de pino-encino (BPQ) y bosque de encino-pino (BQP) (107 294 ha) mantienen mayores superficies con arbolado cerrado que sus homólogos de arbolado medio o abierto (20 839 ha). No es el mismo caso en cubiertas con altitudes más bajas, donde los arbolados medios a abiertos rebasan considerablemente a los arbolados cerrados.

Los BQ presentan el doble de superficie con arbolado medio a abierto (31 349 ha), con respecto al arbolado cerrado (14 643 ha). Esta misma situación la presentan los MC con poco más del doble de su cubierta (18 098 ha) en comparación con arbolados medios y abiertos (44 259 ha).

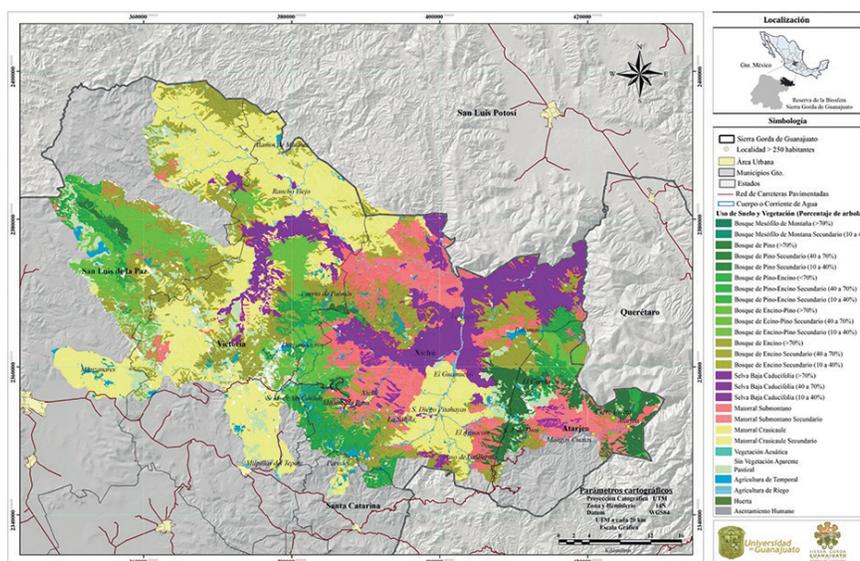


Figura 3. Uso y cubierta de suelo RBSGG, 2011.
Fuente: Elaboración propia basado en interpretación de Imagen Spot-5.

Tabla 5.
Superficies de vegetación y uso del suelo representadas en hectáreas y porcentajes con respecto al total de la RBSGG.

Tipo de UCS	ha	%
BMM/c	80	0.0
BMM/sec/a	7	0.0
BP/c	5612	2.4
BP/sec/m	1598	0.7
BP/sec/a	2164	0.9
BPQ/c	11 008	4.6
BPQ/sec/m	2200	0.9
BPQ/sec/a	1479	0.6
BQP/c	10 674	4.5
BQP/sec/m	3104	1.3
BQP/sec/a	3294	1.4
BQ/c	14 643	6.2
BQ/sec/m	13 607	5.7
BQ/sec/a	17 742	7.5
SBC/c	6215	2.6
SBC/sec/m	10 503	4.4
SBC/sec/a	9650	4.1
MSM	11 768	5.0
MSM/sec	18 468	7.8
MC	18 098	7.6
MC/sec	44 259	18.7
VA	2	0.0
Pz	15 976	6.7
SVeg	4209	1.8
Agr/R	1129	0.5
Agr/T	6527	2.8
H	128	0.1
AH	1549	0.7
CA	1191	0.5
Total	236 883	100

VA: vegetación acuática, Pz: pastizal, SVeg: sin vegetación, Agr/R: agricultura de riego, Agr/T: agricultura de temporal, H: huerta, AH: asentamiento humano, CA: cuerpo de agua, sec: secundario, a: arbolado abierto (10 a 40%). m: arbolado medio (40% a 70%) y c: arbolado cerrado (mayor a 70%), * revegetación.
Fuente: Rocha (2015).

Y un caso más drástico es la SBC cerrada, contando con alrededor de una cuarta parte (6.2 ha) con respecto a esta misma en arbolados medios y abiertos (20 153 ha).

Cambios e intensidad de los cambios de UCS 2004 – 2011

De 2004 a 2011, la RBSGG presentó cambios en 3.4% de su superficie total. La cubierta vegetal presentó

transiciones tanto en pérdidas como recuperación de la misma. Aunque los cambios son localizados en toda la reserva, estos tuvieron mayor presencia en la zona central del municipio de Victoria.

Las pérdidas de cubierta vegetal de mayor presencia se dieron en la SBC y el BQ con 8.9% (566 ha) y 3.6% (539 ha), respectivamente, en relación con su superficie absoluta, pasando de cubierta arbórea cerrada a media. Posteriormente, 2.8% (292 ha) de la SBC con cubierta arbórea media pasó a cubierta arbórea abierta. Igualmente, el MC y MSM sufrieron una transición hacia estados secundarios de 2.5% (442 ha) y 1.7% (191 ha), respectivamente de su superficie (tabla 6).

La recuperación de la cubierta tuvo mayor presencia en la SBC y BQ de cubierta arbórea media al pasar 5.8% (614 ha) y 3.5% (480 ha) a cubierta arbórea cerrada, respectivamente. El BQP de cubierta arbórea media cambió 11.1% (377 ha) de su superficie a BPQ con cubierta arbórea cerrada. La SBC de cubierta arbórea abierta cambió en un 2.9% (283 ha) de su superficie a cubierta arbórea media. Asimismo, 1% (207 ha) de MSM secundario se transformó en BQ de cubierta arbórea abierta (tabla 6).

Relación entre el UCS y datos de biomasa

A partir del análisis de diagrama de caja, entre el contenido de biomasa de los sitios INFyS y las categorías de la cartografía UCS 2011, se obtuvo el comportamiento de biomasa aérea para 13 categorías de vegetación (figura 4). Este análisis se realizó con 43 sitios INFyS de los 49 existentes para la RBSSG, los sitios restantes fueron descartados por su ubicación en categorías de uso de suelo (sin contenido de biomasa) o por representar un sitio totalmente incoherente para la categoría.

De acuerdo con el diagrama de caja, las categorías con mayor cantidad de biomasa corresponden a cubiertas de arbolado cerrado de los BP y BPQ. Asimismo, se observa que esta cantidad de biomasa aérea disminuye conforme se reduce el porcentaje de cubierta arbórea. El contenido más bajo de biomasa aérea se presentó en las comunidades de matorral, destacando con mayor biomasa los matorrales conservados.

Mapa de degradación forestal 2011

La figura 5 representa espacialmente las categorías de los niveles de degradación forestal dentro de la RBSGG.

Tabla 6.

Matriz de transición de superficie expresada en porcentaje del UCS en la RBSGG para el periodo 2004 a 2011. Los valores subrayados representan las superficies de permanencia para cada categoría.

2011 (Parte 1)														
2004	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	96.88	0.79	1.84											
2	5.14	94.30												
3			99.57											
4				97.59	1.97	0.38								
5				4.24	94.78	0.98								
6					0.55	99.45								
7							96.46	1.63	1.37		0.16	0.23		
8				11.09			3.00	80.11	5.15		0.03	0.24		
9							1.07	5.53	92.96					
10										94.41	3.60	1.29		
11					0.18					3.51	94.31	1.18		
12										0.27	0.76	98.83		
13													100.00	
14														100.00
15												0.19		
16												0.08		
17														
18									0.06		0.16	0.23		
19										0.00	0.01	0.04		
20			0.03							0.07	0.04	0.23		
21					0.01	0.01						1.14		
22														
23											0.02	0.02		
24									0.02					
25														
26														
27														
2011 (Parte 2)														
2004	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	Pi
1						0.33	0.16							3.12
2							0.56							5.70
3						0.43								0.43
4				0.05							0.01			2.41
5														5.22
6														0.55
7		0.02	0.05						0.03	0.05				3.54
8		0.12	0.03		0.24									19.89
9	0.25				0.19									7.04
10				0.22	0.09	0.27	0.10		0.03					5.59
11		0.08	0.02	0.24	0.10	0.05	0.31		0.02					5.69
12		0.04		0.01	0.02	0.02	0.02		0.04					1.17
13														0
14														0
15	88.01	8.94	2.16	0.13	0.38	0.09	0.09							11.99
16	5.84	90.85	2.77	0.03	0.10	0.05	0.23		0.07					9.15
17		2.89	97.10											2.90
18		0.17		96.93	2.46				0.01					3.07
19		0.22	0.01	1.21	98.29				0.18	0.01				1.71
20		0.21				97.71	1.70							2.29
21		0.18	0.03			0.63	98.01							1.99
22								100.00						0
23	0.01				0.08				99.85	0.03				0.15
24									0.02	99.95				0.05
25							0.01		0.09		99.90			0.10
26											0.06	99.94		0.06
27									0.08				99.92	0.08
Gj	6.11	12.88	5.08	1.88	3.64	1.87	6.42	0	0.57	0.09	0.07	0		

1: Bosque de pino cerrado. 2: Bosque de pino secundario medio. 3: Bosque de pino secundario abierto. 4: Bosque de pino-encino cerrado. 5: Bosque de pino-encino secundario medio. 6: Bosque de pino-encino secundario abierto. 7: Bosque de encino-pino cerrado. 8: Bosque de encino-pino secundario medio. 9: Bosque de encino-pino secundario abierto. 10: Bosque de encino cerrado. 11: Bosque de encino secundario medio. 12: Bosque de encino secundario abierto. 13: Bosque de mesófilo de montaña cerrado. 14: Bosque de mesófilo de montaña secundario abierto. 15: Selva baja caducifolia cerrada. 16: Selva baja caducifolia secundario media. 17: Selva baja caducifolia secundario abierta. 18: Matorral crasicale. 19: Matorral crasicale secundario. 20: Matorral submontano. 21: Matorral submontano secundario. 22: Vegetación acuática. 23: Pastizal. 24: Sin vegetación. 25: Agricultura (agricultura de temporal, agricultura de riego y huerta). 26: Cuerpo de agua. 27: Asentamiento humano. Pi: Pérdida. Gj: Ganancia. Fuente: Rocha (2015).

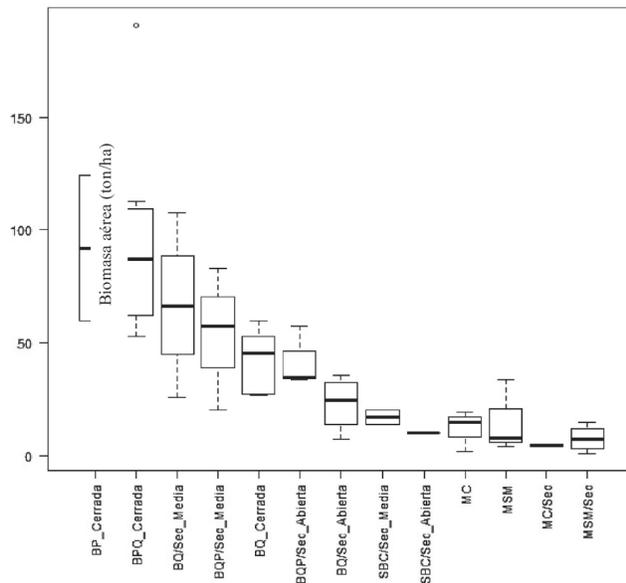


Figura 4. Relación de biomasa aérea y categoría de vegetación de la cartografía UCS 2011 considerando porcentaje de arbolado. BP_Cerrada (Bosque de Pino cerrado); BPQ_Cerrada (Bosque de Pino-Encino cerrado); BQ/Sec_Media (Bosque de Encino Secundario medio); BQP/Sec_Media (Bosque de Encino Pino Secundario medio); BQ_Cerrada (Bosque de Encino cerrada); BQP/Sec_Abierta (Bosque de Encino Pino Secundario abierta); BQ/Sec_Abierta (Bosque de Encino Secundario abierta); SBC/Sec_Media (Selva Baja Caducifolia Secundario media); SBC/Sec_Abierta (Selva Baja Caducifolia Secundario abierta); MC (Matorral Crasicale); MSM (Matorral Submontano); MC/Sec (Matorral Crasicale Secundario); MSM/Sec (Matorral Submontano Secundario).

Fuente: Elaboración propia.

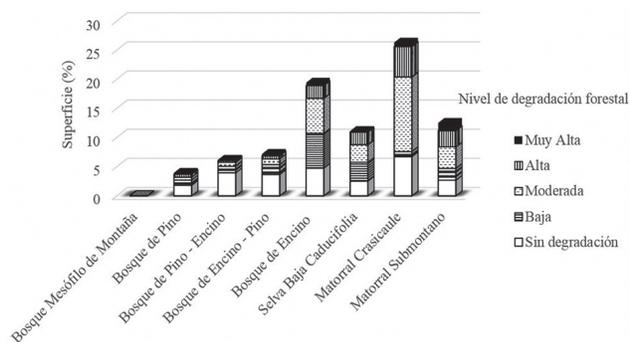


Figura 5. Degradación forestal en la RBSGG
Fuente: Elaboración propia.

A partir de la cartografía de DF se estimó un 26.2% (61 967 ha) de cubierta vegetal sin degradación forestal, donde la cubierta de MC destaca (6.7%), seguida por los bosques templados BQ (4.5%), BPQ (4.0%), BQP (3.7%) y BP (1.8%). Tanto el MSM como la SBC se aproximan a 2.5% de superficie de cubierta no degradada.

La cubierta con degradación forestal baja, con 16% (37 423 ha) de ocupación dentro de la reserva, presenta con mayor porción el BQ (6.0%) y SBC (3.2%).

La degradación forestal moderada, con alrededor del 28% (65 602 ha), se encuentra con mayor superficie MC (12.8%), posteriormente, BQ (6.0%), MSM (3.7%) y SBC (3.0%).

La cubierta altamente degradada presente en el 14% de la superficie (32 468 ha), se encuentra en el MC (5.2%), el MSM (2.8%), la SBC (2.2%) y el BQ (2.2%).

Finalmente, en los sitios con el nivel más crítico de degradación, muy altamente degradados, destaca el MSM con 1.3% de su superficie (figura 6).

DISCUSIÓN

En comparación con estudios anteriores sobre cartografía de cubierta vegetal en la RBSGG, como es el caso de las superficies registradas en la propuesta del programa de manejo, el presente estudio permitió cuantificar más del 9% de superficie de SBC, mientras esta superficie en la propuesta del programa de manejo está registrada como matorral. Por otro lado, el UCS incluyó la categoría de las áreas sin vegetación (1.8%), que anteriormente se registró como pastizal. Es muy importante mencionar que la mayores diferencias se establecen entre los matorrales MC/MSM conservados y deteriorados, pues el presente trabajo establece MC/MSM con solo 29 866 ha (12.61%), mientras que la propuesta del programa de manejo establece 100 507 ha (42.43%) y la misma cobertura pero secundaria, en este trabajo se obtuvo 62 727 ha (26.48%) contra de la propuesta del programa de manejo de 10 565 ha (4.46%) de la RBSGG. Dicho resultado muestra que los MC/MSM se encuentra en una situación de degradación seis veces más que la reportada por la propuesta del programa de manejo. De forma totalmente inversa, la categoría de pastizales y agricultura tienen una menor superficie en el presente trabajo, con 15 976 ha (6.74%) y 7656 ha (3.23%), en comparación con la propuesta del programa de manejo que muestra 25 812 ha (10.90%) y 12 59 ha (5.09%). La figura 7 expone otras diferencias entre estas cartografías para el resto de las categorías de UCS. Esto sin presentar las diferencias en cuanto a distribución espacial de las cubiertas, que también son considerables.

El proceso de CUCS, 2004-2011 estimó cambios en 3.4% de la superficie de la RBSGG. Es importante mencionar que estos cambios representaron tanto revegetación, deforestación y degradación, donde los procesos de revegetación y degradación fueron predominantes.

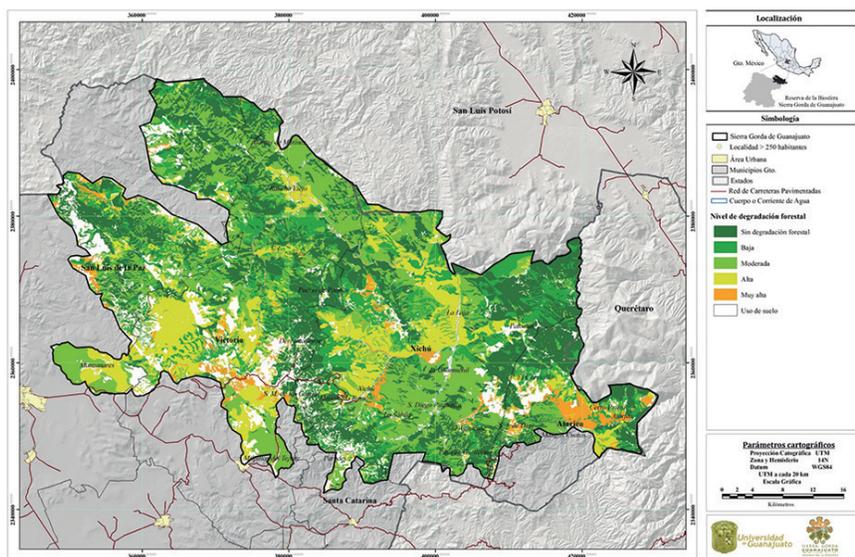


Figura 6. Superficie por niveles de degradación forestal para cada tipo de vegetación.
Fuente: Elaboración propia basado en interpretación de Imagen Spot-5.

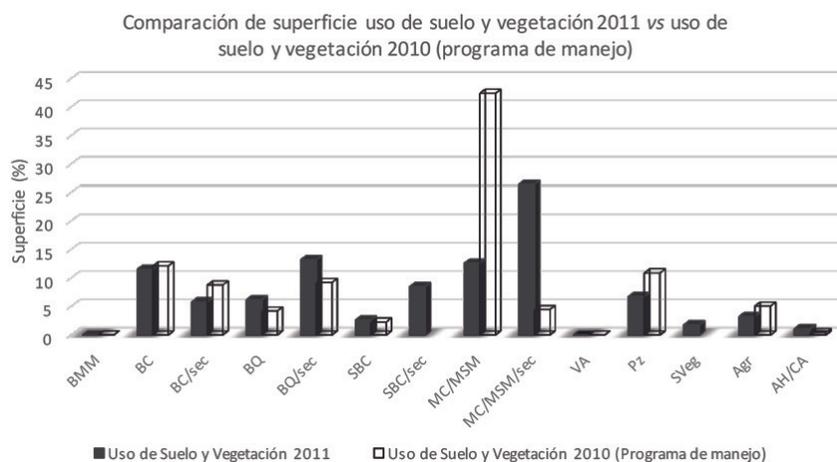


Figura 7. Comparación entre la superficie del USC 2010 de la propuesta del programa de manejo de la RBSGG y el UCS 2011, representada en porcentaje con respecto al total de la RBSGG.
Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las categorías de la cartografía de DF, los sitios caracterizados de muy alta degradación presentan una cubierta arbórea abierta y, aunque son sitios con fuerte y muy fuerte erosión, aún proveen de servicios ambientales como los escurrimientos que provienen de agua a las localidades, por lo cual se necesitan aplicar acciones para impulsar su permanencia y recuperación, tales como programas de reforestación o manejo para regeneración natural, programas de estabilización de taludes o el establecimiento de técnicas

de producción agrícolas sostenibles basado en las características del relieve en correspondencia con el tipo de cultivo de uso tradicional.

Por su parte, el uso de suelo no presenta cambios relevantes, posiblemente por la dificultad de acceso o por la poca cantidad de la población local desde años atrás. Durante el periodo 2004-2011, la SBC y el BQ presentaron las mayores tasas de degradación, disminuyendo su cubierta arbórea cerrada a media.

No obstante, fueron las cubiertas de SBC y BQ las que registraron mayores tasas de recuperación, pasando de cubierta arbórea media a cerrada. Varias localidades de ambientes templados y tropicales, al ser decretada la Sierra Gorda de Guanajuato como reserva de la biosfera, determinaron sumarse a las acciones de conservación y han detenido la actividad ganadera para obtener ingresos por pago por servicios ambientales; son estas superficies las que han mostrado una revegetación en la cubierta vegetal.

Así, se determinó que aproximadamente el 60% de la superficie en la RBSGG constituye cubierta afectada por un grado de degradación forestal. Esto resulta significativo, ya que el área representa una reserva de carácter federal, la cual debería representar uno de los ecosistemas menos afectados.

CONCLUSIÓN

La determinación del porcentaje de arbolado (FAO, 1996) y su relación con la información de biomasa aérea, los cambios en UCS, así como la relación de la erosión del suelo, fueron de gran utilidad para determinar los diferentes niveles de degradación forestal en la RBSGG.

El análisis de diagrama de caja contribuyó satisfactoriamente para relacionar la biomasa aérea registrada por los sitios INFyS y las categorías de porcentaje de arbolado, dándole un mayor detalle a las condiciones en la cartografía UCS.

Mediante la cartografía de erosión del suelo se determinó un 50% de la RBSGG, que presentó una cubierta vegetal con algún tipo de erosión del suelo, causado probablemente por procesos hídricos específicamente de forma laminar, así como cárcavas y surcos consecuencia de la actividad agropecuaria desarrollada en la RBSGG.

Es posible concluir que los estudios de cartografía UCS y DF apoyan sustancialmente en la gestión de ANP, como ha sido en los programas de manejo del Parque Nacional Pico de Orizaba (Conanp, 2015), el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (Conanp, 2013) o el Parque Nacional Cofre de Perote (Conanp, 2015), los cuales han basado el diagnóstico de la problemática ambiental existente en detallados estudios de procesos de cambio en la cubierta del suelo, permitiendo tener un claro punto de partida hacia el conocimiento experto desde un punto de vista territorial y temporal.

La toma de decisiones está a cargo de los diferentes niveles de gobierno y la población local. Los productos generados en este estudio representan un potencial para el desarrollo de los programas de conservación, enseñanza e investigación de los recursos naturales dentro de la RBSGG, debido al detalle del sistema de clasificación, la escala y la información de campo. Ello identifica un campo a trabajar para realizar prácticas para revertir la degradación y, al mismo tiempo, aprovechar las ventajas para obtener la recuperación de estos sitios degradados así como estimular la recuperación.

La problemática de la degradación forestal involucra directamente a la población local, por ello es necesario trabajar de cerca para evaluar su inclusión en la gestión forestal por medio de técnicas de investigación participativa en inventarios de los recursos naturales e inventarios de especies multipropósitos para poder utilizarlas como fuente de ingreso para sus familias, lo cual garantizaría la participación activa con un amplio sentido de identidad y pertenencia hacia su entorno.

REFERENCIAS

- Aldwaik, S. Z., & Pontius Jr., R.G. (2012). Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, 106(1), 103-114.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). (2013). *Propuesta del Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato*. Ciudad de México: Conanp.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). (2015). *Programa de manejo del Parque Nacional Cofre de Perote*. Ciudad de México: Conanp.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). (2009a). *Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores*. Zapopan: Conafor.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). (2009b). *Inventario nacional forestal y de suelos 2004-2009. Manual y procedimientos para el muestreo de campo*. Ciudad de México: Conafor.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Roma: FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Roma: FAO.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2000). *Conjunto nacional de información de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie I, Departamento de Uso del Suelo, Dirección General de Geografía*. Ciudad de México: INEGI.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2005). *Conjunto nacional de información de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000*, Serie II, Departamento de Uso del Suelo, Dirección General de Geografía. Ciudad de México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2009). *Conjunto nacional de información de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000*, Serie III, Departamento de Uso del Suelo, Dirección General de Geografía. Ciudad de México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009b). *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000*, serie III, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2012). *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000*, serie IV, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2013a). *Conjunto nacional de información de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000*, Serie IV, Departamento de Uso del Suelo, Dirección General de Geografía. Ciudad de México: INEGI.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2013b). *Guía para la interpretación de cartografía de erosión del suelo*. Ciudad de México: INEGI.
- Landell-Mills, N., & Porras, I. T. (2002). *¿Bala de plata u oro de tontos? Revisión global de servicios ambientales del bosque y su impacto sobre los pobres*. Londres: IIED.
- Mas, J. F., Velázquez, A., Reyes, J., Mayorga, R., Alcantará, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T., & Pérez-Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249-261.
- McCaughey, D. J. (2006). Selling out on nature. *Nature*, 443, 27-28.
- Mendoza, E., & Dirzo, R. (1999). *Biodiversity / Conservation*, 8(12), 1621-1641.
- Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT). (2002). *OIMT- Directrices de la OIMT para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques tropicales secundarios y degradados*. Serie OIMT de políticas forestales N° 13. Yokohama.
- Palacio, J. L., Bocco, G., Velázquez, A., François, J., Takaki, F., Victoria, A., Luna, L., Gómez, G., López, J., Palma, M., Trejo, I., Peralta, A., Prado, J., Rodríguez, A., & Mayorga, R. (2000). La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del *Inventario Forestal Nacional*, 43(1), 183-199.
- Pérez-Vega, A., & Rocha, F. (2015). Degradación forestal en áreas naturales protegidas del estado de Guanajuato. Primer Congreso Nacional de Ordenamiento Territorial y Ecológico. Instituto de Ecología del Estado, Instituto de Planeación, Estadística y Geografía y Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Gto.
- Rocha, F. (2015). *Degradación Forestal en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
- Salitchev, K. A. (1979). Cartografía. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1992). *Inventario nacional de gran visión, 1991-1992; uso de suelo y vegetación. Escala 1:1 000 000*. Ciudad de México: SARH.
- Simula, M., & Mansur, E. (2011). A global challenge needing local response. *Unasylva*, 62(2), 3-7.
- Skutsch, M. (2013). Entrevista con Margaret Skutsch sobre degradación forestal en México. (Archivo de video). Recuperado el 30 octubre de 2013 de <http://vimeo.com/78213906>
- Wunder, S. (2005). Payments for environmental services: some nuts and bolts. CI- FOR Occasional paper 42. Center for International Forestry Research, Bogor.
- Zamudio, S. (2012). Diversidad de ecosistemas del estado de Guanajuato. En *La biodiversidad en Guanajuato. Estudio de estado*. Guanajuato: Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (Conabio)-Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEE).