Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

gef

PNUD
Al servicio de las personas y las naciones

Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales

Este material fue realizado en el marco del Proyecto 00071603 “Transformar el manejo de bosques de producción comunitarios ricos en biodiversidad mediante la creación de capacidades nacionales para el uso de instrumentos basados en el mercado”, el cual es ejecutado por la Comisión Nacional Forestal (Conafor), implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Pnud) en México, con un cofinanciamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Gef por sus siglas en inglés).

Las opiniones, análisis y recomendaciones contenidas en este documento no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Directiva o de sus Estados Miembros, ni de las instituciones participantes en el proyecto.

Coordinación General del documento
Unidad Coordinadora del Proyecto 00071603 “Transformar el manejo de bosques de producción comunitarios ricos en biodiversidad mediante la creación de capacidades nacionales para el uso de instrumentos basados en el mercado”

Autor
M.C. Enrique J. Jardel Peláez
Profesor-investigador titular
C.U. Costa Sur, Universidad de Guadalajara

Diseño Editorial
Edgar Javier González Castillo

© Primera edición 2015.
México 2015.

Derechos reservados ©
De los autores y coeditores:

Comisión Nacional Forestal, Periférico Poniente 5360, Col. San Juan de Ocotán, CP 45019, Zapopan, Jalisco, México.
www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/biodiversidad/

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Calle Montes Urales 440, Col. Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 1000, México D.F.
www.mx.undp.org

Ni esta publicación ni partes de ella pueden ser reproducidas o almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo de los autores y de la Comisión Nacional Forestal y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

El proyecto “Biodiversidad en Bosques de Producción y Mercados Certificados”, expresa su agradecimiento a todas las personas que participaron en los talleres de discusión, revisión y validación del presente documento.

"La riqueza natural de nuestro país compromete aún más el esfuerzo que como Gobierno debemos llevar a cabo, y de nuestra contribución a este esfuerzo global por hacer del planeta un mejor espacio donde vivir"

Enrique Peña Nieto
Presidente de los Estados Unidos Mexicanos

29 mayo 2014, 5ª Asamblea del Fondo para el Medio Ambiente Mundial Cancún, Quintana Roo.

"El desarrollo sostenible nos obliga a mirar de manera integral los problemas económicos, sociales y ambientales (…) Por ello, proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de manera sostenible, combatir la desertificación, detener la pérdida de biodiversidad, son metas propuestas en la nueva agenda de desarrollo sostenible, tanto para la erradicación de la pobreza como para cambiar el curso de la degradación ambiental"

Helen Clark
Administradora del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Contenido

Prólogo 10

Introducción 12

Medio ambiente, hábitat y nicho ecológico 18

Manejo forestal, manejo de hábitat y conservación biológica 26

Caracterización y clasificación de hábitats forestales 33

- Clasificación jerárquica y escalas de análisis y representación cartográfica 33
- Principios generales de la caracterización y clasificación de hábitats 37

Métodos de caracterización y clasificación de hábitat a escala del paisaje 45

- Zonas bioclimáticas 48
- Unidades geomorfoedafológicas 49
- Vegetación y uso del suelo 51
- Unidades de paisaje y tipos de hábitat 54
- Cartografía utilizada 55
- Mapas de hábitat a escala regional: bioclima y vegetación 57
- Clasificación de unidades de paisaje (hábitats) 61
- Aplicación a la planificación territorial del manejo 63
- Aplicación al nivel predial 68

Métodos de caracterización y clasificación de hábitat a escala de rodales 84

- Relaciones entre tipos de hábitat y especies 90

Consideraciones finales 92

Anexo 1 95

Literatura citada 100

Prólogo

El proyecto Biodiversidad en Bosques de Producción y Mercados Certificados, es una iniciativa ejecutada por el Gobierno de México a través de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), la cual es implementada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Pnud) y co-financiada por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Gef por sus siglas en inglés).

Su objetivo es fortalecer las capacidades de los productores forestales para que realicen acciones de conservación de biodiversidad en el manejo de sus bosques productivos, por ello, el proyecto ha generado una serie de herramientas técnicas y productos de conocimiento para apoyar a los técnicos, asesores y productores forestales, en la aplicación de mejores prácticas de manejo silvícola, que contemplen la conservación de biodiversidad, además de impulsar la certificación de buen manejo forestal como estrategia para elevar la competitividad en las empresas forestales comunitarias.

Este documento es una herramienta de apoyo a prestadores de servicios técnicos y productores forestales para la identificación y clasificación de los diferentes tipos de hábitat presentes en los ecosistemas forestales y en los predios bajo manejo forestal, que son de importancia para conocer y mantener las condiciones ecológicas, lo cual contribuirá a identificar las áreas con características especiales que requieren garantizar su conservación, en beneficio de los productores forestales y de la sociedad en general.

Selva mediana subcaducifolia en Quintana Roo. Foto: Enrique Jardel.

Introducción

El término hábitat ha sido utilizado para designar el lugar en que vive un organismo, una población, una especie o un conjunto de especies. En su hábitat, los seres vivos encuentran las condiciones del ambiente físico a las cuales están adaptados y satisfacen los requerimientos de recursos que les son necesarios para sobrevivir y reproducirse. Debido a esto, la protección y manejo de los hábitats ocupa un lugar central en la conservación de la biodiversidad (Thomas 1979, Hunter 1986, 1999, Frumnoff 1995, Primack *et ál*. 2001, Lindenmayer *et ál*. 2006, Hunter & Gibbs 2009, Burchett & Burchett 2011).

Las áreas forestales son el hábitat del 65% de la diversidad de especies terrestres existentes en el mundo (Lindenmayer & Franklin 2002); esto indica que su protección en parques y reservas, así como la adopción de buenas prácticas de manejo en los bosques de producción y la restauración de ecosistemas forestales degradados, son parte esencial de una estrategia integral de conservación de la biodiversidad (Lindenmayer *et ál*. 2006).

La diversidad biológica o, de manera abreviada, la biodiversidad, consiste en toda la variedad de formas de vida existentes en el planeta (Wilson 1992). El término biodiversidad se refiere no solo a la variedad de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos, sino también a la diversidad genética existente dentro de las poblaciones de las distintas especies, y a la diversidad de ensamblajes de especies en las comunidades bióticas interactuando con el medio físico en distintos tipos de ambientes. Conservar la biodiversidad implica mantener a largo plazo esta diversidad genética, de especies y de ecosistemas (Hunter & Gibbs 2009, Primack *et ál.* 1996).

En México, tanto la legislación vigente y el marco normativo, como los programas gubernamentales del sector forestal, han incorporado en los últimos años objetivos,

lineamientos y criterios para la conservación de biodiversidad, como parte del manejo forestal. En la puesta en marcha de la actual "Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad" impulsada a través de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), la conservación de la biodiversidad en bosques de producción y el aumento del número y superficie de operaciones de producción forestal certificadas, son un objetivo prioritario. La certificación bajo los principios y criterios del Consejo Mundial Forestal (*Forest Stewardship Council*, Fsc) y la norma mexicana NMZ-AA-143-SCFI-2015, para la certificación del manejo sustentable de los bosques, establecen entre otras cosas, la adopción de medidas para proteger la biodiversidad y mantener a largo plazo atributos de las áreas forestales que representan altos valores para la conservación (Brown *et ál.* 2013, Fsc 2004).

La conservación de la biodiversidad no es un resultado automático de la aplicación de buenas prácticas de silvicultura y ordenación forestal dirigidas a la producción sostenible de madera, sino que implica la elaboración de estrategias, el diseño de prescripciones de manejo y su aplicación para lograr metas específicas de conservación en bosques dedicados a la producción maderera (Thomas 1979, Harris 1984, Franklin *et ál.* 1997, Lindenmayer *et ál.* 2006, Jardel-Peláez 2014a, 2014b).

Las intervenciones de manejo dirigidas a la producción de madera y otros recursos forestales, tienen un impacto directo sobre las condiciones de los hábitats (Gullion 1991, Gardner 2010) y puede decirse que, dados sus efectos sobre el ambiente de las especies, el manejo forestal es, ya sea de manera deliberada o incidental, una forma de manejo de hábitat (Thomas 1979).

La implementación de acciones de conservación efectivas, requiere de herramientas prácticas, fundamentadas en el conocimiento y entendimiento de los patrones y procesos ecológicos, que sirvan de guía para los responsables del manejo de las áreas forestales. Tanto los dueños de terrenos forestales como los prestadores de servicios técnicos y el personal de las dependencias gubernamentales, requieren de instrumentos operativos y de estándares para poner en práctica acciones de manejo.

La Conafor y su Proyecto especial "Biodiversidad en Bosques de Producción y Mercados Certificados", plantearon la necesidad de elaborar la presente guía para la "Caracterización y clasificación de hábitats forestales".

Esta guía se centra en una propuesta metodológica para la caracterización y clasificación de los diferentes tipos de hábitats que se encuentran en las áreas forestales. Parte del principio de que la pérdida y degradación de hábitat es la principal causa de disminución de la biodiversidad (Hunter & Gibbs 2009, Primack *et ál.* 1996) y que la transformación de los hábitats forestales por las prácticas de silvicultura y ordenación es también el factor principal de impacto sobre la biodiversidad en el manejo forestal (Harris 1984, Lindenmayer & Franklin 2002). El manejo forestal es, al fin de cuentas, manejo del hábitat, por lo cual los silvicultores deben tener la capacidad de diseñar buenas prácticas de silvicultura y ordenación que favorezcan la conservación biológica en bosques de producción (Jardel 2014a, 2014b).

Conservar especies es, un objetivo central de una estrategia de conservación de la biodiversidad. Sin embargo, para lograr de manera efectiva el cumplimiento de un objetivo como este, es esencial conservar las condiciones de hábitat que hacen posible, a su vez, la persistencia de las especies. Esto último depende de que las especies puedan encontrar en los hábitats forestales de las unidades de manejo, los requerimientos ambientales necesarios para su reproducción, crecimiento y sobrevivencia.

En los bosques manejados, las condiciones del hábitat son un producto de las intervenciones de manejo (Thomas 1979). Las condiciones de los hábitats forestales hoy en día, son en gran parte resultado de las intervenciones de aprovechamiento forestal y las prácticas silvícolas aplicadas en el pasado. En muchos casos, estas intervenciones y prácticas han tenido impactos negativos sobre los hábitats, especialmente por la reducción significativa de rodales de etapas avanzadas de la sucesión y la fragmentación (Harris 1984), la simplificación de la composición

y estructura de los rodales (Franklin *et ál*. 1997), la eliminación de componentes estructurales del hábitat, la alteración de la vegetación ribereña y el impacto de la construcción de caminos (Lindenmayer & Franklin 2002).

La caracterización del hábitat y el estudio de los requerimientos ambientales de las especies de organismos vivientes, ha sido un tema central de la ecología, la conservación biológica y la silvicultura desde su origen (Leopold 1936). Los trabajos clásicos de Humboldt sobre la distribución de las especies de plantas, la caracterización de zonas de vida para explicar la variación de hábitats a escala del paisaje en el trabajo de autores como Merriam o Holdridge o la explicación de la evolución biológica por selección natural en las obras de Darwin y Wallace, son algunos ejemplos de la consideración del hábitat y los factores ambientales como un tema central para explicar los patrones y procesos ecológicos y evolutivos que influyen en la biodiversidad. El manejo de hábitat es una cuestión central para el manejo de fauna silvestre (Leopold 1936) y la base para la conservación de la biodiversidad en el manejo forestal (Thomas 1979, Harris 1984, Lindenmayer & Franklin 2002).

Existen diferentes métodos y técnicas para caracterizar y clasificar hábitats (Thomas 1979, Pfister & Arno 1980, Hoover & Wills 1984, Cooperrider *et ál*. 1986, Pojar *et ál*. 1987)[1]. Para fines de manejo es necesario establecer estándares y un lenguaje común compartido entre los silvicultores, conservacionistas, técnicos y científicos. En un país megadiverso y con un paisaje tan heterogéneo como el de México, crear un sistema estandarizado de clasificación de hábitats forestales representa un enorme reto.
Esta guía no pretende dar una solución definitiva a los problemas de caracterización y clasificación de hábitats forestales para fines de manejo, pero sí presentar una

[1] Ejemplos de clasificación de hábitat forestal de distintas regiones de los Estados Unidos, pueden encontrarse en los reportes técnicos del U.S. Forest Service, disponibles en Internet (www.fs.fed.us/publications/).

propuesta metodológica que permita avanzar en este tema. Los métodos que aquí se proponen han sido ensayados en la planificación del manejo de áreas protegidas, la elaboración de planes comunitarios de ordenamiento territorial y la integración de programas de manejo forestal, que incorporan el componente de conservación de la biodiversidad. La mayor parte de los ejemplos que aquí se presentan se centran en las montañas del suroeste de Jalisco y, particularmente, en la Sierra de Manantlán, pero podemos decir –citando el trabajo clásico de Thomas (1979) sobre las Montañas Azules de Oregon –que "aunque el lugar es geográficamente estrecho, los conceptos generales, los principios y las prácticas son aplicables al manejo forestal en todo el país". Los conceptos y principios generales son aplicables prácticamente en cualquier otra región forestal montañosa.

Esta guía está estructurada en dos partes; en la primera se discuten los fundamentos teóricos para la caracterización de hábitats como un componente de la planificación del manejo forestal y, en la segunda parte se presenta la propuesta metodológica. Se espera que esta propuesta sea de utilidad para los silvicultores y que contribuya al logro de metas de conservación de la biodiversidad y el patrimonio natural existente en los bosques de México.

Bosque de coníferas en Basaseachi, Chihuahua. Foto: Enrique Jardel.

Medio ambiente, hábitat y nicho ecológico

Un principio básico de la ecología, es que las especies de organismos vivientes se distribuyen en el espacio geográfico en función de la influencia de gradientes de factores ambientales limitantes y de las interacciones con otras especies (Andrewartha & Birch 1954).

Los silvicultores saben, por ejemplo, que distintas especies de árboles de interés para la producción forestal, se encuentran asociadas a ciertas condiciones de sitio –esto es, condiciones de clima, suelos y topografía –, donde pueden reproducirse y crecen mejor que en otros lugares; saben también que el éxito en la silvicultura de una especie determinada, depende de intervenciones que están dirigidas a satisfacer sus requerimientos ambientales, como espacio de crecimiento, luz, agua y nutrientes del suelo, y a controlar la competencia con otras especies de plantas o el ataque de insectos parásitos o patógenos (Smith *et ál.* 1996).

Desde la perspectiva de la ecología de poblaciones, el *medio ambiente* de una población de organismos de una especie determinada, consiste en el conjunto de factores externos a dicha población, que determinan su éxito reproductivo, su sobrevivencia, crecimiento y área de distribución (Andrewartha & Birch 1954). Estos factores incluyen al clima y las condiciones físicas y químicas del entorno, los recursos que requiere una especie para su mantenimiento, como espacio, luz, agua y nutrientes en el caso de las plantas o alimentos, refugios y madrigueras en el caso de animales, otras poblaciones de organismos con los cuales tienen lugar interacciones positivas, como el mutualismo plantas-hongos en las micorrizas o plantas-animales en la polinización o la dispersión de semillas, o interacciones negativas, como las interacciones con depredadores, parásitos o patógenos, e incluso la influencia de diversos agentes físicos, biológicos o antropogénicos que originan eventos discretos en el tiempo y espacio, que son causa mortalidad o daño para la población (figura 1).

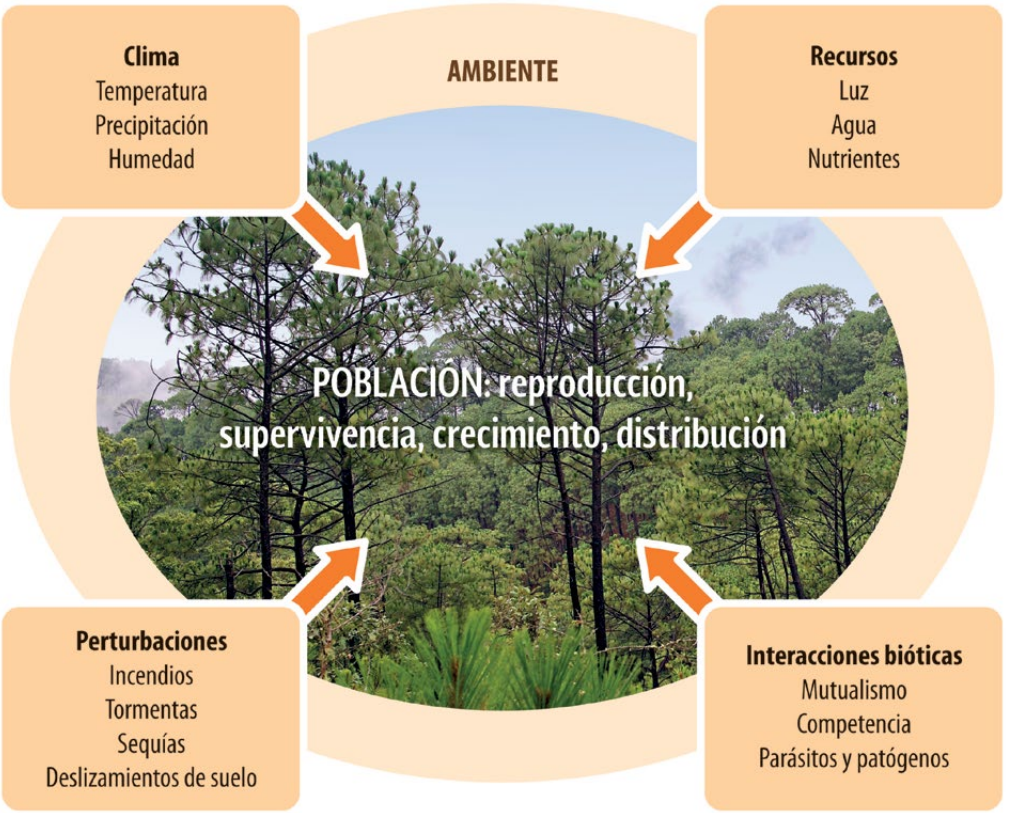


Figura 1. El concepto de medio ambiente en ecología de poblaciones (basado en Andrewartha & Birch 1954).

A través del proceso evolutivo, las especies se han adaptado para sobrevivir y reproducirse en determinadas condiciones ambientales. El rango o amplitud de variación en las condiciones ambientales a las cuales una especie está adaptada, constituye su *nicho ecológico* (Hutchinson 1957). El nicho ecológico de una especie puede ser conceptualizado como un espacio multidimensional, en el cual cada dimensión representa a los factores de su ambiente (figura 2).

Cuando se modifican las condiciones ambientales, esto puede ampliar o reducir las condiciones favorables para una especie determinada. Desde una perspectiva de la ecología de poblaciones, el deterioro o degradación del ambiente de una población consiste en una reducción del espacio de nicho que esta puede ocupar, lo cual puede llevarla a la extinción (Pianka 1978).

Estas ideas son básicas para entender que la conservación de las especies biológicas, depende del estado en que se encuentra su ambiente o entorno ecológico, con relación a la amplitud de condiciones ambientales a las cuales las especies están adaptadas, esto es, su nicho ecológico.

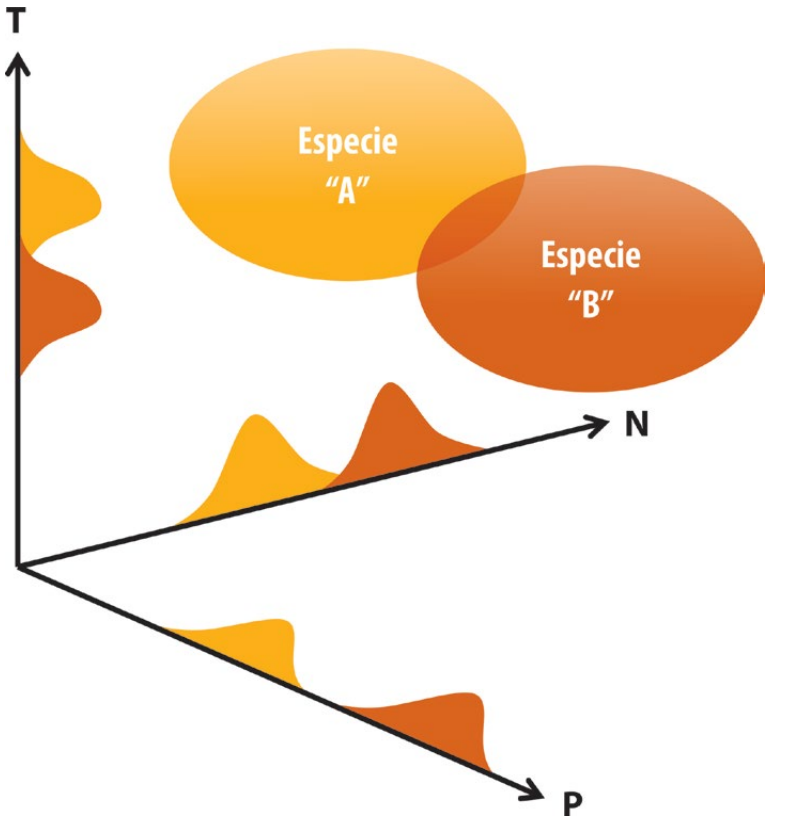


Figura 2. La figura ejemplifica el concepto de nicho ecológico de Hutchinson (1957). Dos especies "A" y "B", ocupan un volumen tridimensional representado por gradientes ambientales (T temperatura, P precipitación y N nutrientes del suelo). Las curvas junto a cada eje, muestran la distribución de frecuencias del número de individuos de las especies en cada gradiente ambiental, entre sus límites de tolerancia (extremos de la curva) y las condiciones medioambientales óptimas (alrededor del promedio) a las cuales están adaptadas.

En la práctica del manejo de recursos naturales, estos conceptos básicos de la ecología (medio ambiente y nicho ecológico), han estado presentes, aunque generalmente se les pasa por alto o se les llama y entiende de diferente manera. Por ejemplo, la silvicultura consiste en intervenciones relacionadas con el manejo del ambiente de las especies arbóreas de interés comercial, en función de sus requerimientos ambientales y adaptaciones (esto es, su nicho ecológico): las cortas de regeneración y los tratamientos de sitio asociados a estas, se hacen de acuerdo a los requerimientos de luz y condiciones de suelo de las especies de interés, para favorecer el establecimiento y crecimiento de su renuevo; también se aplican tratamientos para controlar la competencia con otras plantas, o para protegerlas de herbívoros, parásitos y patógenos o para favorecer relaciones mutualistas que incrementan la productividad de las especies arbóreas (un ejemplo es la inoculación de las plantas con micorrizas para lograr mayor éxito en el establecimiento de plantaciones).

Otro ejemplo de la aplicación de estas ideas de ambiente y nicho ecológico en la práctica, es el del manejo de fauna silvestre de interés cinegético, en el cuál se hacen intervenciones tales como la protección de madrigueras y sitios de reproducción, la manipulación de la vegetación mediante cortas o quemas prescritas para favorecer la disponibilidad de forraje para venados, pecaríes o guajolotes silvestres, el suplemento de forraje o el aumento de la disponibilidad de agua en abrevaderos naturales o artificiales, etc. (Leopold 1936). Estos son ejemplos de manejo del *hábitat* de las especies de interés, especies de árboles maderables en la silvicultura o animales para la cacería en el manejo de la fauna silvestre.

Hábitat es un término estrechamente relacionado con los conceptos de ambiente y nicho ecológico. El *hábitat* es el espacio físico que reúne la suma total de condiciones ambientales que hacen posible la sobrevivencia y reproducción de una especie o sus poblaciones (Thomas 1979); el término puede aplicarse también al lugar donde se encuentran comunidades bióticas formadas por especies con requerimientos ambientales similares (figura 3).

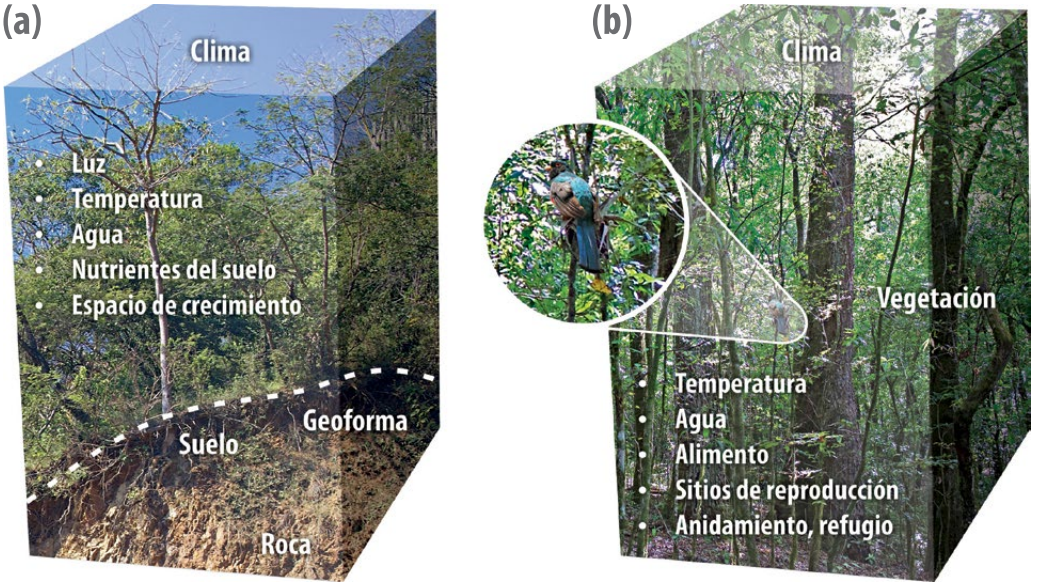


Figura 3. El hábitat es la suma total de condiciones ambientales de un lugar donde una especie vive y encuentra los requerimientos ambientales que hacen posible su reproducción y sobrevivencia. Los requerimientos de hábitat de una especie están determinados por la amplitud o rango de condiciones ambientales a los cuales está adaptada, esto es, su nicho ecológico. Para las especies de plantas (a), las condiciones de sitio (clima, geoformas y suelo) y la vegetación, de la cual forman parte, constituyen los factores del hábitat. Para las especies animales (b) los factores básicos del hábitat son las condiciones del clima y la vegetación.

El que una especie o un conjunto de especies se encuentre en un hábitat determinado, depende de su nicho ecológico, esto es, del rango de condiciones ambientales a las cuales la especie está adaptada. Las condiciones del hábitat son, por lo tanto, factores determinantes para la supervivencia, reproducción, crecimiento y distribución de las poblaciones y en este sentido el manejo del hábitat es la clave para la conservación de poblaciones viables (Leopold 1936, Andrewartha & Birch 1954, Thomas 1979).

Puede decirse que, cuando se trata de conservar una especie rara o amenazada o de aprovechar de manera sostenible a unas pocas especies de interés cinegético o maderable, cuyos requerimientos de hábitat son conocidos, la tarea está clara: el manejo del hábitat se dirige a mantener, mejorar o favorecer las condiciones ambientales de acuerdo con los requerimientos de la especie o especies de interés. La cuestión es mucho más complicada cuando se trata de conservar el conjunto de especies existentes en un paisaje forestal, cuando el objetivo es mantener toda la biodiversidad presente. No solo

diferentes especies tienen distintos requerimientos y responden de manera diferente a cambios ambientales, sino que además desconocemos los requerimientos de hábitat y las respuestas probables de la inmensa mayoría de las especies. Una manera de abordar el problema es tratar de mantener a largo plazo la variación natural o histórica de condiciones de hábitat existentes en el paisaje (Hunter & Gibbs 2009).

Los paisajes de las áreas forestales están formados por un mosaico de parches o rodales en distintas etapas de desarrollo sucesional, que varían en el espacio y el tiempo, representan diferentes tipos de hábitat que albergan a la variedad de especies y comunidades bióticas presentes en una región o localidad. Los parches o rodales se caracterizan básicamente por la variación en las condiciones de sitio (clima, forma del relieve, suelo) y la estructura de la cobertura vegetal.

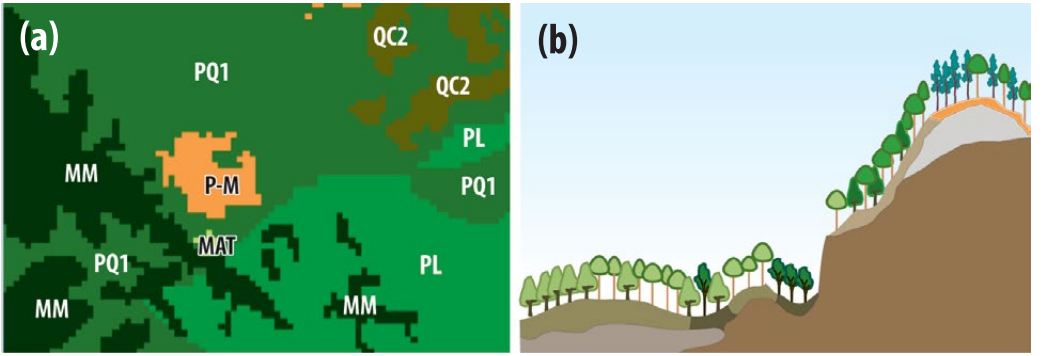


Figura 4. El mosaico del tipo de hábitat en el paisaje, representado por un mapa (a) varía espacialmente, a través de gradientes de factores ambientales limitantes como temperatura, agua y nutrientes del suelo; estos gradientes ambientales en los ecosistemas terrestres son resultado de la variación espacial en las condiciones del clima, la forma del terreno (geomorfología) y las condiciones del suelo y su material parental (b).

El mosaico de hábitats en el paisaje, varía no solamente en el espacio a través de gradientes ambientales (figura 4), sino también a través del tiempo como resultado de la influencia de fluctuaciones ambientales, eventos de perturbación (o disturbios ecológicos) y procesos de regeneración y sucesión ecológica (figura 5). Esto es, se trata de un mosaico dinámico, en el cual, la existencia de patrones de variación asociados a los gradientes de clima, topografía y suelos, se manifiestan eventos temporales, tales como la variación climática interanual y eventos como incendios, huracanes, tormentas, sequías, deslizamientos de suelo, etc. (Jardel & Sánchez-Velásquez 1989, Frelich 2002, Manson *et ál.* 2009), seguidos

de cambios en la estructura y composición de la vegetación y las comunidades bióticas durante los ciclos de desarrollo de los rodales (Oliver y Larson 1980). Así, dentro de un mismo tipo de ecosistema se encuentra un mosaico de parches o rodales en diferentes etapas de desarrollo sucesional, que representan variación en las condiciones del hábitat y que pueden caracterizarse por las asociaciones de especies presentes y la variación en la estructura de la vegetación (figura 5). La existencia de diversidad de especies depende de esta variación espacio-temporal en el mosaico de hábitats en el paisaje.

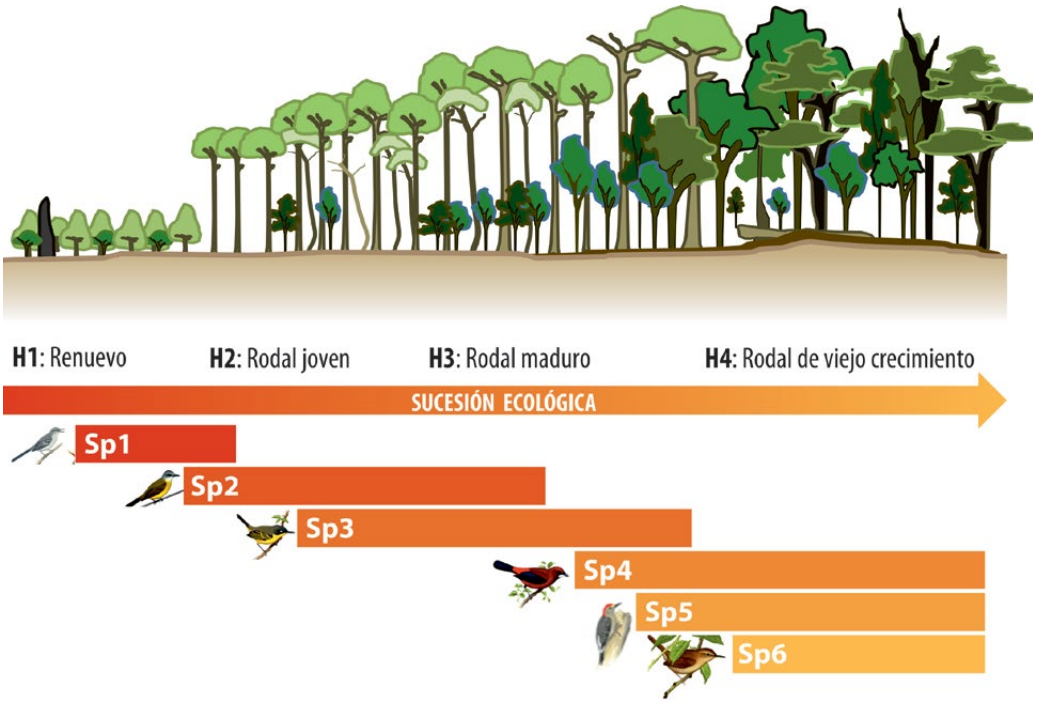


Figura 5. Variación temporal en los tipos de hábitat (**H1-H4**) a través del proceso de regeneración y sucesión ecológica, después de un evento de perturbación, en bosques mixtos de pino-latifoliadas (Jardel *et ál.* 2014). Las etapas de la sucesión, que representan distintas clases de estructura (que se caracterizan por la altura, estratificación vertical, densidad y apariencia o fisonomía de la cubierta vegetal) y *asociaciones* de plantas, animales y otros organismos, corresponden a las fases de establecimiento (**H1**), construcción I (**H2**), construcción II (**H3**), donde se establece regeneración de árboles tolerantes y madurez (**H4**) del modelo de desarrollo de rodales de Oliver & Larson (1990). Además de la variación en la estructura y composición de la vegetación, durante la sucesión ocurren cambios en el microclima dentro del bosque, en las condiciones de suelo y en la acumulación de biomasa de plantas.

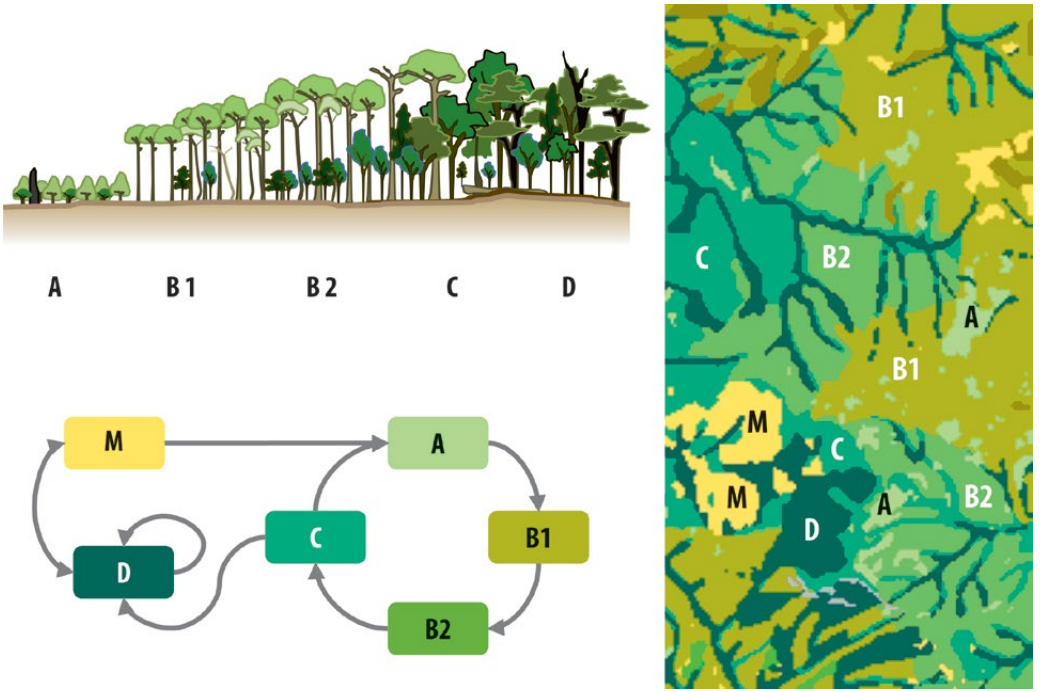


Figura 6. El mosaico de parches de hábitat cambia temporalmente en el paisaje. El mantenimiento de un mosaico de hábitats que represente la variación natural o histórica de un área, es fundamental para la conservación de biodiversidad; el manejo puede emular el proceso natural de cambios cíclicos en el mosaico de rodales en el paisaje. **A**: establecimiento de regeneración de árboles heliófilos (intolerantes a la sombra, como los pinos) en claros formados por eventos de perturbación ("disturbios" ecológicos) como incendios o cortas de regeneración; **B1**: rodales jóvenes en la fase de construcción; **B2**: rodales en la fase de establecimiento de regeneración de árboles tolerantes a la sombra, principalmente latifoliadas y algunas coníferas; **C**: rodales con subdosel de latifoliadas, entrando a la fase de madurez; **D**: rodal maduro, dominado por latifoliadas; **M**: matorrales secundarios. Ver Jardel *et ál.* (2004b, 2014) para la descripción del patrón sucesional en bosques húmedos montanos subtropicales y Oliver y Larson (1990) para la explicación de las fases de desarrollo de los rodales.

Manejo forestal, manejo de hábitat y conservación biológica

Los principales efectos o impactos del manejo forestal sobre la biodiversidad se derivan de[2]:

a. La modificación de la estructura y composición de la vegetación a escala de rodales, como resultado de las *intervenciones silvícolas* implica cambios en las condiciones de hábitat que pueden ser negativos, neutrales o positivos, dependiendo de las especies. La figura 7 presenta un modelo conceptual de los efectos de las intervenciones silvícolas sobre la fauna silvestre. Las intervenciones silvícolas dirigidas a la producción maderera, tienden a producir rodales monoespecíficos y uniformes (Puettman *et ál.* 2009), a eliminar legados bióticos y reducir complejidad estructural (Lindenmayer & Franklin 2002), aumentar la fragmentación y efectos de borde, al mismo tiempo que se reducen o eliminan rodales de viejo crecimiento (Harris 1984). La simplificación de la estructura y composición de los rodales, con la eliminación de hábitats de etapas sucesionales avanzadas, como consecuencia de la aplicación de turnos cortos, es uno de los impactos más críticos de la silvicultura sobre la biodiversidad (Jardel 2014a).

b. Los cambios a escala de paisaje en la superficie, patrón espacial y conectividad de los tipos de hábitat, como resultado de la aplicación de determinado método de *ordenación forestal*, bajo el cual se determina la distribución espacial y temporal de las intervenciones silvícolas, la duración del turno y la rotación de las intervenciones, así como la zonificación (o clasificación de superficies) de las áreas forestales, bajo distintas intensidades de uso o diferentes niveles de protección, de acuerdo con la combinación de objetivos de producción y conservación. La uniformidad de la composición y estructura, la reducción de la heterogeneidad espacial, la pérdida de

[2] Para una síntesis de los impactos del manejo forestal sobre la biodiversidad y los ecosistemas ver Jardel (2014a). Para una discusión más amplia consultar Bormann y Likens (1979), Thomas (1979), Harris (1984), Frumnoff (1995), Hunter (1996), Kohm & Franklin (1997), Kattan 2002, Lindenmayer y Franklin (2002), Williams (2006), Puettmann *et ál*. (2009), Gardner (2010).

la variabilidad natural o histórica en el mosaico de rodales o parches de hábitat y el aumento de la proporción de rodales secundarios jóvenes, son los impactos más importantes que se derivan de los métodos de ordenación aplicados en el manejo forestal (Harris 1984, Hunter 1996, Lindenmayer & Franklin 2002).

c. Los efectos de las actividades de *cosecha, extracción y transporte* sobre el sistema hidrológico, los suelos y la cobertura vegetal generan impactos significativos sobre los hábitats forestales y, en consecuencia, sobre la biodiversidad que albergan. La distribución espacial de los claros formados en las cortas de regeneración, el establecimiento de carriles para arrimar la trocería o de patios para su acopio o almacenamiento y, sobre todo, la construcción, operación y mantenimiento de brechas y caminos de extracción, tienen impactos sobre la red de drenaje y escurrimiento del agua y sobre las tasas de erosión y sedimentación, con efectos críticos sobre el suelo y los ecosistemas acuáticos, por lo tanto sobre la biota del suelo y los cuerpos de agua (Lindenmayer & Franklin 2002).

d. El efecto directo sobre las especies, a través de la presión de selección ejercida por el aprovechamiento de las especies de interés maderable o las medidas de control de especies de plantas competidoras y de organismos parásitos o patógenos causantes de plagas o enfermedades forestales, puede llevar a las especies al borde de la extinción (especialmente cuando son raras, endémicas o de distribución restringida); prácticas de manejo deficientes pueden llevar a la disminución de existencias de madera de las especies de interés comercial y a su reemplazo por otras especies de menor valor o sin mercado (Jardel 1985). El control de especies de plantas competidoras puede llevarlas también al borde de la extinción, afectando a otras especies asociadas, tales como animales que dependen de arbustos o hierbas como fuente de alimento, sitios de anidamiento o refugio. El combate de plagas y enfermedades con uso de plaguicidas, puede tener impactos críticos sobre poblaciones de otras especies que no son el objetivo de las prácticas de protección forestal.

e. La apertura de caminos y brechas de extracción, cuando no se aplican medidas de protección y vigilancia efectivas, facilitan la tala clandestina, la extracción no regulada de productos forestales no maderables y la cacería. Esto puede llevar a la sobreexplotación de especies y causar su extinción local.

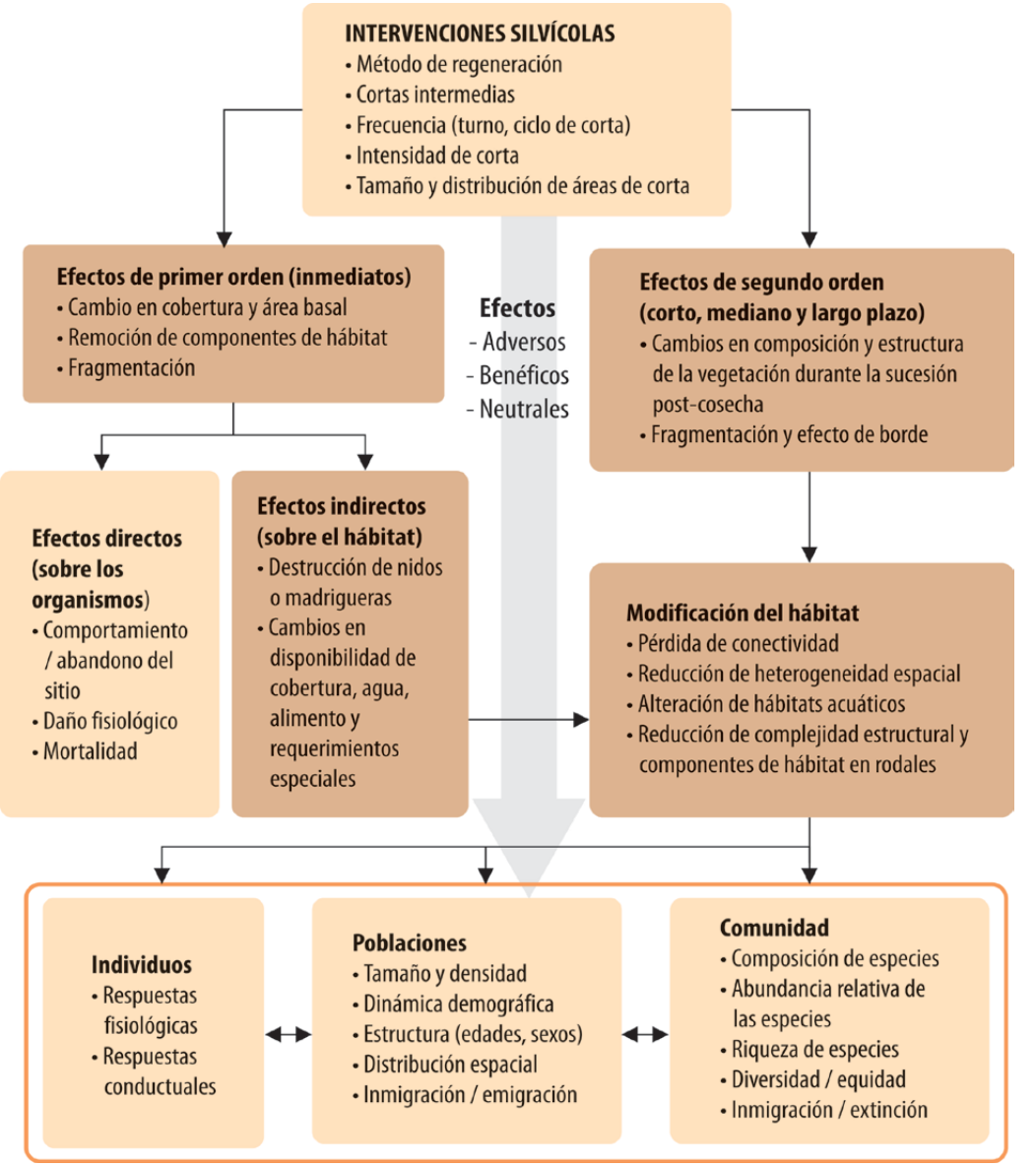


Figura 7. Modelo conceptual de los efectos de las intervenciones silvícolas sobre el hábitat de la fauna silvestre. Los efectos pueden ser adversos, benéficos o neutrales para las especies. Las cajas en color obscuro muestran efectos sobre las condiciones de hábitat; estos efectos son generalmente más importantes en el largo plazo que los efectos directos sobre los animales. Los efectos pueden manifestarse en distintos niveles de organización: organismos individuales, poblaciones o la comunidad. (Fuente: Santana *et ál.* 2009, con modificaciones).

Los impactos descritos en los primeros tres incisos se manifiestan como efectos directos sobre el hábitat a escala de rodales o de paisaje; los incisos cuarto y quinto se refieren a impactos directos sobre especies, que también se manifiestan sobre las condiciones del hábitat. Por ejemplo, las prescripciones silvícolas de eliminación de encinos y otras latifoliadas ("hojosas") para favorecer el establecimiento de masas forestales dominadas por pinos, afecta a las especies de fauna silvestre que dependen de la producción de bellotas, semillas y frutos comestibles, o que requieren de la disponibilidad de cavidades como nidos o madrigueras, mientras que la mayor parte de las especies de plantas epífitas se asocian en mayor proporción con los encinos y otras latifoliadas que con los pinos (Cárdenas 1992).

Ya que las intervenciones silvícolas, la ordenación forestal, la cosecha, extracción y transporte de productos forestales, y las medidas de protección forestal tienen efectos directos o indirectos sobre el hábitat, puede decirse entonces que el manejo forestal es manejo de los hábitats forestales. La cosecha de madera y la construcción de caminos alteran el hábitat de la biota silvestre más que cualquier otra actividad de manejo forestal; como lo ha señalado Thomas (1979), el manejo para la producción de madera y el manejo de hábitat de la fauna silvestre pueden ser compatibles en lo general, pero solo si las necesidades de la fauna silvestre son reconocidas y consideradas junto con los requerimientos de la producción maderera.

Hacer compatibles la producción maderera y la conservación de biodiversidad, implica un mejor entendimiento de las comunidades de plantas y animales, cómo cambian a través del tiempo y el espacio y cómo responden a las prácticas silvícolas (Thomas 1979). La mayor parte de las medidas propuestas para la conservación de biodiversidad en bosques de producción (véase Thomas 1979, Harris 1984, Hoover y Willis 1986, Franklin *et ál.* 1996, Lindenmayer & Franklin 2002, Lindenmayer *et ál.* 2006, Vargas-Larreta 2013), tienen que ver con el manejo de hábitat. Es por esto que para lograr los objetivos de conservación de biodiversidad, en el marco de la certificación forestal y de las metas de la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad, se ha planteado un enfoque de conservación basado en el manejo de hábitat (Jardel 2014a, 2014b).

Las intervenciones de manejo forestal, particularmente la aplicación de los tratamientos silvícolas, la construcción de caminos, la distribución espacial y temporal de las áreas intervenidas, tienen efectos directos sobre las condiciones físicas de los hábitats forestales. Los tratamientos de cortas de regeneración e intermedias, modifican la composición de especies arbóreas y la estructura de edades y tamaño de las poblaciones de árboles en los rodales, de acuerdo con los objetivos del silvicultor. A escala del paisaje, el sistema de ordenación crea un mosaico de rodales en distintas etapas de desarrollo –desde claros recién intervenidos hasta rodales que están alcanzando la madurez de acuerdo al criterio del sistema de manejo aplicado– que representan distintas *clases de estructura* cuyas características como hábitat son variables.

Estos efectos o impactos físicos sobre los hábitats, tienen a su vez efectos sobre la composición y diversidad de especies. En este sentido, puede decirse que el manejo forestal, de manera incidental o deliberada, es manejo de hábitat. Si los efectos de las intervenciones de manejo forestal son conceptualizados, entendidos y diseñados explícitamente para producir ciertas condiciones de hábitat deseadas, entonces es posible integrar la silvicultura y la ordenación forestal con el manejo de hábitat, para lograr objetivos particulares de conservación y para mitigar impactos adversos sobre el ambiente de las especies. Entonces, es necesario contar con métodos de caracterización y clasificación de hábitats, como un elemento clave para la generación de información en el proceso de planificación del manejo forestal y en el diseño y aplicación de buenas prácticas para la conservación de biodiversidad, así como en el monitoreo y la evaluación de los resultados de conservación biológica en áreas manejadas para la producción de madera y otros recursos forestales.

La conservación en predios bajo manejo forestal, puede ser más operativa, con un enfoque hacia la protección y manejo de hábitats, que con uno centrado en la conservación de especies, por las siguientes razones:

1. Los efectos –tanto positivos como negativos –de las intervenciones de manejo silvícola y de las actividades relacionadas de corta y abastecimiento, protección forestal y restauración ecológica o rehabilitación productiva, se manifiestan en cambios en las condiciones del hábitat, las cuales a su vez tienen efectos sobre la composición de las comunidades y las poblaciones de plantas, animales y otros organismos que forman parte de los ecosistemas forestales.

2. Aspectos clave de la planificación del manejo forestal, como son la clasificación de superficies y la ordenación forestal a escala de predios y regiones, implican la toma de decisiones sobre la protección de hábitats, el mantenimiento de corredores biológicos y los ciclos de intervención en unidades espaciales que constituyen parte del hábitat de las especies. La ordenación forestal determina a largo plazo la configuración del mosaico de rodales a escala del paisaje y por lo tanto la disponibilidad de hábitat y la conectividad necesarias para mantener poblaciones viables de las diferentes especies (Harris 1984, Kattan 2002, Lindenmayer & Franklin 2002).

3. Las comunidades bióticas y poblaciones de especies, responden de manera diferente a las intervenciones de manejo forestal. Las respuestas de las especies son idiosincrásicas, esto es, cada especie –o grupo de especies con características similares de requerimientos ambientales y atributos vitales –responden de manera diferente a cambios en su hábitat, producidos por las intervenciones de manejo, que pueden tener efectos positivos, negativos o neutrales (figura 7). Una estrategia de conservación de la biodiversidad depende por lo tanto de mantener la heterogeneidad de hábitats a escala del paisaje y su variabilidad natural o histórica (Hunter 1996, Lindenmayer & Franklin 2002).

4. El conocimiento de la biodiversidad puede ser limitado, incompleto o insuficiente. Es prácticamente imposible hacer un inventario completo de la biodiversidad presente en un área. En la planificación de la conservación se utilizan generalmente "subrogados", esto es, indicadores de biodiversidad basados en el conocimiento de ciertos grupos de especies mejor estudiados y relativamente más fáciles de inventariar y monitorear; generalmente se trata de plantas vasculares y animales vertebrados (Margules y Sarkar 2009). Sin embargo, aún en el caso de estos grupos, la elaboración de buenos inventarios requiere de personal especializado para una identificación taxonómica correcta de las especies.Además, incluso en estos grupos, existen especies que no han sido aún catalogadas y clasificadas. Por lo tanto, la caracterización y clasificación de hábitats puede ser un medio práctico y operativo, utilizando la diversidad de hábitats como un indicador subrogado de la diversidad de especies que potencialmente puede encontrarse en un área.

5. El inventario y monitoreo de las condiciones de hábitat para fines de planificación, evaluación o inspección del manejo forestal, puede ser relativamente más operativo y menos costoso que el de especies (Gardner 2010).La caracterización y clasificación de hábitats puede incorporarse con relativa facilidad, a los métodos de inventario forestal. Debe dejarse claro que ambos aspectos –el conocimiento de la diversidad de hábitats y de especies –no son excluyentes entre sí, sino que son aspectos complementarios y que aunque un enfoque centrado en hábitats pueda ser la estrategia central para la implementación práctica de la conservación en el manejo forestal, siempre será necesario contar con información acerca de la diversidad de especies y del estado de las poblaciones.

Caracterización y clasificación de hábitats forestales

Por las razones señaladas en los apartados anteriores y en el marco conceptual de la conservación de biodiversidad en bosques de producción (Jardel 2014a), la incorporación de la conservación de la biodiversidad en la elaboración y ejecución de programas de manejo forestal, requiere de información sobre las características y el estado de los hábitats forestales.

Existen diversos métodos para caracterizar y clasificar hábitats con fines de manejo para la conservación de biodiversidad. Aquí se presenta una propuesta metodológica basada en la información disponible en México. Se consideró también que los métodos aplicados sean costo-efectivos y que puedan ser reproducidos y flexibles para adaptarse a la variabilidad de condiciones existentes en las áreas forestales de México.

Clasificación jerárquica y escalas de análisis y representación cartográfica

El manejo forestal se lleva a cabo a diferentes escalas, que deben de ser consideradas en la definición de niveles jerárquicos para la caracterización y clasificación de hábitats. En esta propuesta metodológica consideramos cuatro niveles jerárquicos que corresponden a distintas escalas de representación cartográfica o de observación en el terreno:

1. Nivel regional, correspondiente a las regiones de reactivación de la producción y productividad forestal, a grandes "cuencas de abastecimiento" de la industria maderera o porciones extensas del territorio que incluyen, tanto áreas de producción como áreas protegidas o regiones prioritarias para la conservación (escala cartográfica 1:250,000).

2. Nivel subregional, que corresponde a unidades de manejo extensas (del orden de decenas de miles de hectáreas) tales como grandes predios forestales (como los existentes en Chihuahua y Durango), conjuntos prediales o áreas protegidas (escala cartográfica 1:50,000).

3. Nivel predial, correspondiente a unidades de manejo menores a 20,000 ha. Este nivel corresponde al de la planificación del manejo forestal y la autorización de programas de manejo a nivel de predio en la mayor parte del país, especialmente en el centro y sur (escala cartográfica 1:10,000-1:25,000).

4. Nivel de rodal. En este caso, la caracterización del hábitat incluye la generación de información sobre la composición y estructura de la vegetación (a partir de datos de inventario) y la evaluación directa de las condiciones del hábitat y sus componentes en el terreno (escala 1:1), integrando la información en cuadros, gráficos y textos descriptivos y relacionándola con los mapas.

Criterios de clasificación de hábitat

La planificación y evaluación del manejo forestal y la aplicación de sistemas silvícolas y métodos de ordenación, se justifican con base en el conocimiento científico y su aplicación técnica. En este sentido, se espera que la generación de información en los estudios, sigan las reglas del método científico: (a) contar con una clara fundamentación teórica, basada en el mejor conocimiento y entendimiento disponibles acerca de los patrones y procesos de los paisajes y ecosistemas forestales, hábitats, comunidades bióticas y poblaciones de especies de interés para la silvicultura y la conservación; (b) generar información fáctica, objetiva y reproducible a partir de la aplicación de métodos rigurosos de toma de datos y análisis de los resultados, siguiendo protocolos explícitos y las reglas de la estadística; (c) presentación de los datos y resultados con información acerca de su confiabilidad, grado de error y validez; (d) interpretación de los resultados y discusión de los mismos en relación con el marco teórico que ha servido de fundamento, separando con la mayor claridad posible la diferencia entre las conclusiones que se derivan de los resultados y las conjeturas que se derivan de su interpretación.

Una cuestión clave es la selección de las variables que son relevantes para caracterizar y describir los hábitats al nivel de interés y a la escala de análisis y representación cartográfica correspondiente. Un problema común en el componente descriptivo de las condiciones físicas, biológicas, ecológicas y silvícolas de las unidades de producción en los estudios de manejo forestal, es que solamente se presentan descripciones generales

de las condiciones de clima, suelos, vegetación, etc., sin analizar, las relaciones entre los distintos factores ambientales y cuál es el significado de estas relaciones para la planificación del manejo. Es común que los programas de manejo forestal carezcan de una descripción explícita de los métodos utilizados para la generación de la información descriptiva y de inventario, así como para su análisis.

Un problema frecuente con los inventarios forestales, es que no toman en cuenta cierta información clave para la caracterización de hábitats y biodiversidad. Por ejemplo: en la descripción de las condiciones físicas y bióticas de los predios no se toman en cuenta o no se les da importancia a unidades de vegetación no arbolada y otros hábitats relevantes para la conservación (como cuerpos de agua, matorrales y herbazales, afloramientos rocosos, etc.); así como la descripción de la estructura de la vegetación; los inventarios se centran únicamente en el estrato arbóreo de áreas o rodales con potencial para la producción de madera comercial, y solo se miden los árboles por arriba de ciertas dimensiones (por ejemplo con diámetros mayores a 10 o 15 cm) perdiendo información clave sobre la biodiversidad y estructura de la vegetación, con lo cual se limitan las inferencias que puedan hacerse sobre la dinámica sucesional y las probables respuestas de los rodales a las intervenciones silvícolas (Jardel- 2014b).

Una clasificación es un ejercicio de ordenamiento de información agrupando conjuntos de cosas que comparten atributos o características similares. Las categorías resultantes de una clasificación son relativas, corresponden a la selección del conjunto de atributos que se consideran relevantes a partir de cierta fundamentación teórica y constituyen un modelo, esto es, una representación de una realidad compleja. En muchos casos, los fenómenos que son clasificados, varían gradualmente (este es el caso del clima, la vegetación y los tipos de hábitat) y los límites entre categorías o clases son relativamente arbitrarios.

Una clasificación debe sujetarse a reglas de decisión que puedan ser reproducidas de manera inequívoca y precisa posible, puede ser jerárquica, partiendo de atributos generales para definir clases mayores y atributos específicos para definir clases menores. El nivel de detalle al cual se definen los atributos de una clasificación corresponde al "nivel de percepción" (Long 1969) y a una escala espacial o temporal determinada a la cual se observa el fenómeno bajo estudio. Los hábitats pueden ser caracterizados a diferentes

niveles de percepción (de una región, zona, sector o localidad) a los cuales corresponde una escala de representación cartográfica; hay que tomar en cuenta también que una clasificación es válida dentro de cierta escala de tiempo proporcional a la constancia o el cambio del fenómeno bajo estudio.

Los nombres o términos aplicados para designar clases o categorías lo determinan quienes elaboran y utilizan una clasificación, en un contexto cultural y lingüístico determinado.

En esta guía, se propone un método aplicable a la caracterización y clasificación de hábitats forestales en México, cuyo fin es contar con información básica y criterios para la planificación y evaluación del manejo de hábitats, considerado este como un aspecto central de la conservación de biodiversidad en bosques de producción. El método propuesto se basa en un enfoque jerárquico que considera el manejo forestal a distintas escalas, desde regiones extensas que conforman las cuencas de abastecimiento de las industrias forestales o que consisten en unidades de gestión del territorio con objetivos de uso múltiple del suelo y los recursos naturales, pasando por el nivel de los predios o conjuntos de predios que son las unidades de planificación y manejo forestal, hasta los rodales –las áreas de intervención-, las unidades mínimas de manejo y sus componentes. El método se basa en la utilización de información cartográfica disponible para la clasificación de unidades del paisaje con criterios geoecológicos aplicables al manejo de hábitat, y la generación de información adicional a escala de rodales o sitios que pueda obtenerse a un costo relativamente bajo durante la fase de caracterización del medio físico y de inventario de recursos forestales.

Ejido Las Animas, Coahuila

Principios generales de la caracterización y clasificación de hábitats

El concepto de hábitat ha sido utilizado principalmente en el manejo de fauna silvestre. Sin embargo, para propósitos de esta guía, utilizaremos el término hábitat de manera general, siguiendo el concepto de Grinnell, de que el hábitat es el rango o amplitud de condiciones ambientales en que una especie se encuentra o distribuye (Krebs 1978). Definimos entonces a los hábitats como *unidades del paisaje, tanto naturales como transformadas por la influencia humana, caracterizadas por un conjunto de factores ambientales (condiciones físicas, recursos y componentes bióticos) que determinan la distribución y abundancia de poblaciones de especies tanto de plantas como de animales*. Esta definición permite la identificación de tipos de hábitat de una manera espacialmente explícita, de manera que el concepto puede aplicarse a la planificación territorial del manejo forestal y la conservación biológica, a distintos niveles y escalas. Un tipo de hábitat puede agregarse con otros tipos en un sistema de orden mayor (como pueden ser biomas o ecorregiones) o dividirse en subtipos de hábitat de un orden o nivel inferior. Usaremos el término *componente de hábitat* para referirnos a elementos o estructuras físicas que forman parte de un hábitat determinado.

La caracterización y clasificación de hábitats propuesta en esta guía, parte del principio de que en los ambientes terrestres, las características del hábitat de los elementos dominantes en la vegetación, los árboles en el caso de los bosques, son equivalentes a las *condiciones de sitio* en la terminología forestal. Para las especies arbóreas, estos requerimientos ambientales incluyen básicamente la temperatura y la disponibilidad de luz, agua y nutrientes del suelo, por lo tanto, la caracterización de las condiciones del clima (básicamente temperatura y el balance entre la entrada y salida de agua por precipitación y evapotranspiración), la geomorfología (que dentro de una misma zona climática determina la distribución de la energía y los materiales en el paisaje) y los suelos (sustrato de crecimiento y fuente de nutrientes), permiten la caracterización del hábitat de las especies de plantas que corresponden a la forma de vida dominante en una formación vegetal, como es el caso de los árboles en los bosques (figura 3a).

Para otras especies de plantas en el bosque, su hábitat está caracterizado también por los mismos factores ambientales, pero hay que añadir además la influencia del estrato dominante de la vegetación. Para las plantas que se encuentran en el sotobosque, los estratos herbáceo y arbustivo, compuestos por hierbas, arbustos, renuevo de árboles, musgos, etc. El estrato arbóreo es un componente clave de su hábitat que influye en la disponibilidad de luz, agua y nutrientes y en las condiciones microclimáticas. Lo mismo sucede con las plantas epífitas que utilizan a los componentes arbóreos como sustrato.

Para la fauna de vertebrados e invertebrados, las condiciones del hábitat están determinadas en gran medida por la composición y estructura de la vegetación, que influye en las condiciones microclimáticas y la disponibilidad de alimento y sitios de refugio, anidamiento o reproducción (figura 3b). Para la biota del suelo, la cubierta vegetal es también un componente clave del hábitat, que determina el aporte de materia orgánica y la composición del mantillo.

En el primer nivel de la clasificación de hábitats, que corresponde a regiones extensas, la clasificación se basa en la combinación de información bioclimática[3] y de cobertura vegetal. Aunque la identificación y mapeo de tipos de vegetación a nivel de formaciones

[3] Las condiciones bioclimáticas son descritas por variables del clima que tienen relevancia para explicar procesos biológicos.

vegetales definidas por criterios fisonómicos[4], es la forma más básica de clasificación de grandes tipos de hábitat, un mismo tipo de vegetación puede distribuirse en distintas condiciones bioclimáticas, bajo las cuales se presentan diferencias importantes en la composición florística y las propiedades de los hábitats forestales.

En México, la cartografía del Inegi se basa fundamentalmente en criterios fisonómicos de caracterización de los tipos de vegetación (Inegi 2005; véase también Miranda & Hernández-Xolocotzi 1963, Rzedowski 1978, González-Medrano 2004); aún y cuando nombres como "bosque de pino" o "bosque de encino" hacen referencia a elementos florísticos dominantes (el género *Pinus* en el primer caso y el género *Quercus* en el segundo), el criterio sigue siendo fisonómico ya que los elementos dominantes confieren a la vegetación un tipo de fisonomía particular, en el primero un bosque dominado por árboles con hojas en forma de acículas y en el segundo por árboles con hojas planas duras, esto es, latifoliadas esclerófilas. Estos tipos de bosques, se presentan en una gran variedad de condiciones bioclimáticas, dada la alta diversidad de especies de pinos y encinos nativos de México. En el caso de estos tipos de vegetación, la sobreposición de mapas bioclimáticos y de vegetación, permite diferenciar distintos tipos de bosques de pino o de encino asociados a distintas zonas templado-frías, templado-cálidas o semicálidas con condiciones que van de muy húmedas a semiáridas y que presentan diferencias en su composición de especies, estructura y productividad. Por ejemplo, las características de hábitat de un pinar de alta montaña de *Pinus hartweggii* en clima semifrío húmedo, difieren significativamente de las de un bosque de pino de zonas templadas muy húmedas donde la precipitación es alrededor de 3000-4000 mm anuales (bosques de *P. chiapensis*) o de las de un bosque de piñoneros (*P. cembroides*) en zonas templadas semiáridas donde llueven 400-600 mm.

Para esta caracterización de hábitats a escala regional, utilizando información bioclimática y la vegetación actual, se propone el uso del *Sistema de Zonas de Vida de Holdridge*. Aunque este ha sido poco utilizado en México, es un sistema que permite la determinación objetiva

[4] El término fisonomía se refiere a la apariencia de la cubierta vegetal y es el punto de partida de la identificación de tipos de vegetación, basándose en características como la forma de vida dominante (árboles, arbustos, plantas crasas o suculentas, hierbas, pastos, etc.), la densidad de la cobertura vegetal, la estratificación vertical, la altura del estrato dominante, y el tipo de hojas de los elementos dominantes y su fenología (formaciones caducifolias, subcaducifolias o perennifolias). Las grandes formaciones vegetales (bosques de coníferas, bosques latifoliados, bosques mixtos de coníferas y latifoliadas, matorrales, pastizales, etc.) se definen en función de su fisonomía.

de zonas bioclimáticas utilizando un método relativamente sencillo y reproducible por observadores independientes (Lugo *et ál.*1999), que utiliza tres variables de relevancia biológica: la biotemperatura promedio anual (el promedio de la temperatura entre 0° y 30°C, rango en el cual hay crecimiento de las plantas), la precipitación pluvial anual y un índice de humedad, la razón de evapotranspiración potencial (Holdridge 1987). Estas variables sirven para determinar las zonas de vida o zonas bioclimáticas, relacionándolas con la vegetación que potencialmente puede desarrollarse en ellas. Las zonas de vida son denominadas por la vegetación potencial, pero debe dejarse claro que es una clasificación de condiciones bioclimáticas y no de tipos de vegetación (figura 8).

El Sistema de Zonas de Vida de Holdridge parte del principio de *zonalidad*, de acuerdo con el cual el clima es el factor de primer orden que determina las características de la vegetación, ya que la disponibilidad de agua para las plantas y la temperatura, son los principales factores limitantes que influyen en la productividad de la vegetación y su fisonomía, además de influir en la composición de especies con diferentes adaptaciones ecofisiológicas (Walter 1973).

En un segundo nivel, se incorpora a la clasificación de hábitats información sobre las condiciones geomorfológicas y de suelos. Dentro de una misma zona bioclimática, la vegetación presenta *variación intrazonal*, debido a que la forma del relieve influye en la redistribución de la energía (luz, temperatura, y variación en la intensidad de efectos de factores físicos como vientos, deslizamientos de suelo o incendios) y los materiales (agua y nutrientes del suelo) en la superficie del paisaje, creando diferentes condiciones de sitio que influyen en la distribución de las formaciones vegetales y las especies. A esto se suma la influencia sobre la vegetación de las condiciones de los distintos tipos de suelos. El uso de mapas geomorfoedafológicos, que combinan información sobre la geomorfología y los suelos, permite identificar patrones de variación intrazonal, relacionados con los factores ambientales limitantes asociados al suelo, que determinan la composición, estructura y productividad de la vegetación. Un ejemplo de esto es la variación observada dentro de zonas templado-cálidas húmedas en la distribución de bosques de pino-encino y bosque mesófilo de montaña, asociados los primeros a geoformas convexas (cimas, parteaguas, laderas de montaña y colinas) y los segundos a geoformas cóncavas (hondonadas, cañadas y barrancas) (Jardel *et ál.* 2004a, 2014) (figura 9).

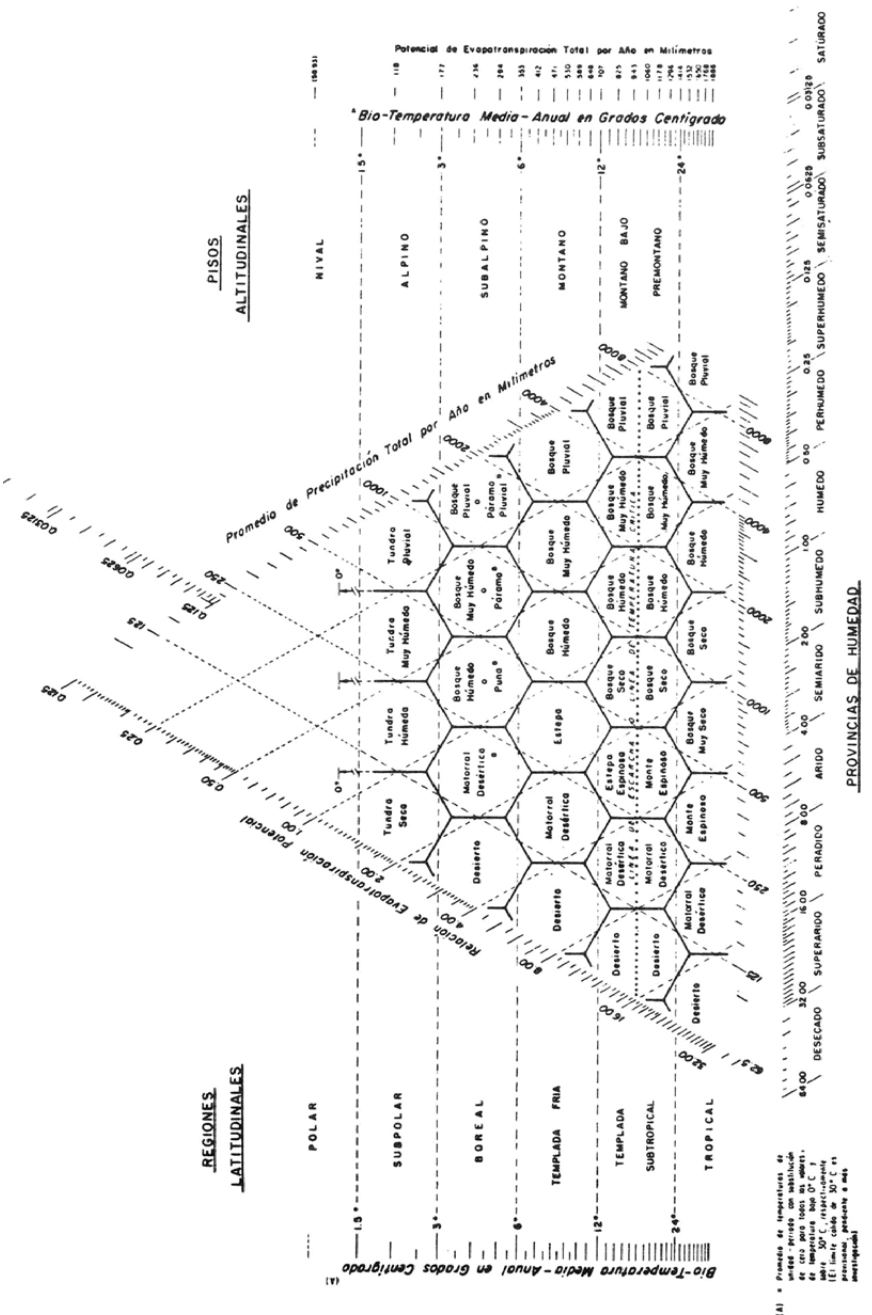


Figura 8. Diagrama para la determinación de zonas de vida del Sistema de Holdridge (1987).

En un tercer nivel, a escala de rodales, la vegetación presenta variación espaciotemporal asociada a la influencia de eventos de perturbación y a procesos de regeneración natural y sucesión post-perturbación. Dentro de una misma unidad del paisaje definida por un tipo de formación vegetal y las condiciones de clima, geomorfología y suelos, se presentan mosaicos de rodales en distintas etapas de desarrollo, que pueden caracterizarse por su composición de especies (asociaciones de plantas) y su altura, estratificación vertical y distribución de edades y tamaños (clases de estructura) (Figuras 5 y 6). Las intervenciones silvícolas son el principal factor que produce variación en las clases de estructura de la vegetación dentro de una misma unidad del paisaje.

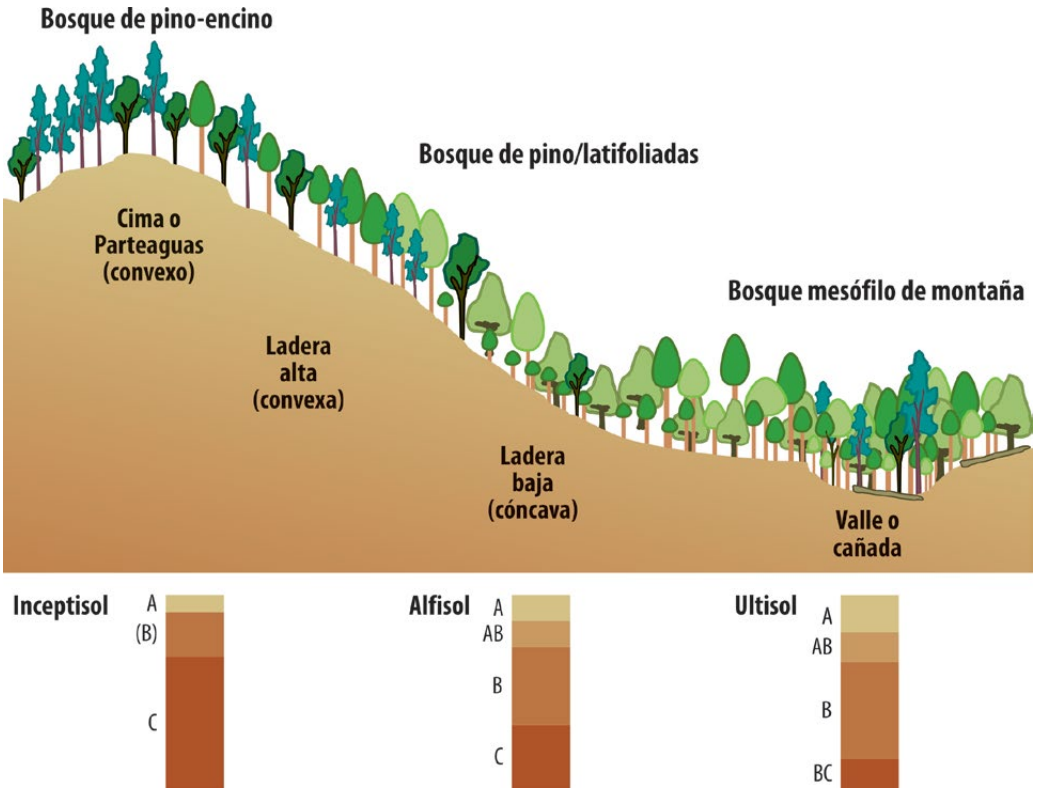


Figura 9. Variación en la vegetación asociada a gradientes de humedad y nutrientes del suelo dentro de una misma zona bioclimática. El ejemplo corresponde a una zona de bosque húmedo montano bajo, donde el bosque de pino encino se encuentra en suelos de desarrollo incipiente en geoformas convexas que pierden humedad y nutrientes, y el bosque mesófilo de montaña en suelos con perfil diferenciado en geoformas cóncavas, donde se acumula humedad. Fuente: Jardel-*et ál*. (2004a)

La identificación de clases de estructura o de etapas sucesionales es la base para la caracterización del hábitat de la fauna silvestre (Thomas 1979, Hoover y Wills 1989). A escala de rodal, la caracterización de hábitat requiere la descripción cualitativa y cuantitativa de atributos de composición y estructura de la vegetación, así como información sobre componentes estructurales que juegan un papel importante en la calidad del hábitat: especies de plantas que son fuente de alimento o estructuras que sirven como madrigueras o sitios de anidamiento, reproducción o refugio, como pueden ser árboles muertos en pie, material leñoso caído, manchones de arbustos, etc.

La caracterización y clasificación de hábitats a escala de rodal, requiere de la descripción de las condiciones físicas de sitio: altitud, posición topográfica, geoforma, pendiente y exposición, la estructura: estratificación vertical, densidad, distribución de tamaños del arbolado y composición de la vegetación, por lo menos a nivel de la composición del estrato arbóreo y de las especies dominantes o características de los estratos herbáceo y arbustivo, y de componentes clave del hábitat: árboles con cavidades y epífitas, árboles muertos en pie, material leñoso caído grueso, etc. Esta información puede ser recabada durante la realización de los inventarios forestales.

Además de la vegetación, otros elementos clave dentro de los hábitats de las áreas forestales incluyen a los cuerpos de agua, los afloramientos y paredes rocosas y los suelos. Los cuerpos de agua albergan a un conjunto de especies que representan una proporción significativa de la biodiversidad forestal (Lindenmayer & Franklin 2002). En la caracterización y clasificación de hábitats, los cuerpos de agua, deben ser también localizados, caracterizados y mapeados a la escala correspondiente a sus dimensiones. En su caracterización debe incluirse las condiciones de la vegetación de ribera.

Igualmente, los afloramientos de roca y las paredes rocosas o acantilados son un hábitat importante donde se encuentran sitios de anidamiento, refugio o alimentación de aves y reptiles, así como sitios donde se encuentran numerosas especies de plantas, muchas de ellas raras o endémicas (de distribución restringida).

El suelo es un hábitat particularmente importante, ya que su biota (animales invertebrados, microorganismos, hongos) juega un papel esencial en los procesos ecosistémicos fundamentales, como la descomposición y mineralización de la materia orgánica y los ciclos de nutrientes, de lo cual depende la generación de servicios ambientales e, incluso, el mantenimiento de la productividad forestal (ver marco conceptual para la conservación de la biodiversidad forestal; Jardel-Peláez 2014a).

El cuarto nivel de la caracterización y clasificación de hábitat requiere de información local dentro de los rodales, identificando y, de ser posible, cuantificando la presencia y abundancia de componentes estructurales del hábitat.

Métodos de caracterización y clasificación de hábitat a escala del paisaje

La propuesta metodológica, se basa en estudios realizados en la Sierra de Manantlán, un área forestal montañosa ubicada en los límites de los estados de Jalisco y Colima (INE 2000, Jardel *et ál.* 2004c). Se consideró conveniente utilizar un método que ha sido previamente ensayado para fines de zonificación del manejo de una región forestal –en este caso, la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM) – (Jardel-*et ál.* 2013). Dentro de esta región, el método ha sido utilizado también en la elaboración de planes comunitarios de ordenamiento territorial, programas de manejo forestal, manifestaciones de impacto ambiental y planes de protección de flora y fauna silvestres. La RBSM es un área protegida, pero bajo una modalidad de reserva de la biosfera, lo que implica un enfoque de manejo para uso múltiple, incluyendo zonas núcleo cuyo manejo se centra en objetivos de conservación biológica y protección de cuencas y zonas de amortiguamiento donde se desarrollan actividades productivas agropecuarias y forestales, incluyendo la producción de madera. Además de esto el área de estudio presenta una considerable variación ambiental: una amplitud altitudinal de 400 a casi 3000 metros sobre el nivel del mar, distintos tipos de clima desde cálidos a templados y desde muy húmedos a subhúmedos, diferentes tipos de sustrato geológico y suelos, y una cubierta vegetal que incluye desde bosques tropicales estacionalmente secos (selva baja caducifolia) hasta bosques de encinos, latifoliadas y coníferas. En este sentido, el método propuesto y los ejemplos que se presentan pueden considerarse de aplicación general para otras áreas forestales del país.

La caracterización y clasificación de hábitat a escala del paisaje propuesta, se basa en un enfoque geoecológico (González-Bernáldez 1980, Hugget 1995, Bailey 1996). De acuerdo con Bailey (1996), la clasificación del paisaje es el proceso de organizar u ordenar información acerca de unidades del territorio de manera que podamos entender mejor sus similitudes, diferencias y relaciones.

El paisaje es el conjunto de elementos observables del territorio, variación de la fisonomía, estructura y composición de la vegetación, formas del relieve, cuerpos de agua, usos del suelo, etc., cuyo estudio nos permite establecer relaciones entre los patrones o

regularidades observadas, su variación espacial y temporal, y los procesos geofísicos, climáticos y ecológicos, cuyo entendimiento es fundamental para la gestión del ambiente, la planificación territorial y el manejo de los recursos naturales (González-Bernáldez 1980, Naveh 1995, Huggett 1995, Bailey 1996).

La clasificación de unidades del paisaje con el fin de aportar información relevante para la planificación territorial del uso y manejo de los recursos naturales –o en nuestro caso específico, para la caracterización de la variación en las condiciones ambientales que permite clasificar diferentes tipos de hábitat –no es solo un proceso mecánico de traslape de mapas temáticos y determinación automática de categorías, a partir de combinaciones de variables geográficas. Los paisajes son más que la suma de sus partes: son sistemas ecológicos organizados, complejos y dinámicos (Naveh 2001); en este sentido, una caracterización y clasificación de los hábitats en el paisaje de una región, que sea útil para guiar acciones de conservación biológica y manejo forestal, requiere de un enfoque conceptual que permita no solo describir patrones sino explicar procesos ecológicos a escala del paisaje.

Para la sub-zonificación o clasificación de superficies bajo distintas políticas de manejo, se puede adoptar un enfoque de clasificación funcional del paisaje (Herrera *et ál.* 1992), en el cual se integra la descripción de las condiciones físico-geográficas de unidades del territorio con la interpretación de las relaciones entre las variables climáticas, geomorfológicas, edáficas y bióticas desde una perspectiva de procesos ecosistémicos, a partir de lo cual es posible evaluar las aptitudes, el potencial y las limitaciones de uso del suelo para la producción sustentable de recursos naturales renovables así como las condiciones ambientales de los hábitats, que son relevantes para la conservación de la diversidad biológica.

Desde un enfoque de manejo de ecosistemas (Christensen *et ál*. 1996, Jardel-*et ál.* 2008), tomamos en consideración lo que podemos llamar "el abecedario del manejo de ecosistemas terrestres" (Jardel- 2014a), que se centra en poner atención especial a la conservación de cuatro conjuntos de factores: (a) Agua y suelos, cuya conservación es esencial para la sostenibilidad de la productividad y para el mantenimiento de servicios ambientales hidrológicos y de protección de cuencas, (b) Biodiversidad, cuyas interacciones mantienen los procesos ecosistémicos esenciales y por ende la generación de servicios

ambientales, además de aportar una variedad de recursos bióticos y representar valores culturales, (c) Cobertura forestal (que regula el clima y representa reservorios de biomasa y carbono, protege los suelos y proporciona hábitat para la diversidad de organismos vivientes) y (d) Dinámica de los procesos ecosistémicos y de la variabilidad natural o histórica del mosaico de hábitats forestales en el paisaje.

Estos factores relacionados con los servicios ecosistémicos fundamentales, tales como la regulación de los ciclos del agua, carbono y nutrientes y la conservación de los suelos (Borman y Likens 1979), el mantenimiento de la biodiversidad y las interacciones bióticas que regulan los procesos ecológicos y proveen recursos bióticos (Lindenmayer & Franklin 2002, Hooper *et ál*. 2005), la regulación del clima a través del balance de carbono y las interacciones biofísicas de la cubierta vegetal con la atmósfera (Adams 2007), y el régimen dinámico de los ciclos adaptativos de los que depende la resiliencia de los sistemas ecológicos (Folke *et ál*. 2004, Walker y Salt 2006).

Siguiendo el enfoque de análisis geo-ecológico para la clasificación funcional del paisaje, las unidades del paisaje fueron definidas considerando los patrones espaciales o regularidades observadas y la asociación entre factores abióticos (como el clima, la geomorfología y los suelos), bióticos (como la cobertura vegetal) y humanos (usos del suelo), que permiten explicar o inferir relaciones funcionales entre dichos factores y su influencia en procesos ecológicos fundamentales cuyo entendimiento es la base para el diseño de prácticas adecuadas de manejo de ecosistemas. Estas unidades del paisaje corresponden a tipos de hábitat.

Para la caracterización y clasificación del paisaje de la Sierra de Manantlán se seleccionaron tres conjuntos de factores: (1) zonas bioclimáticas, (2) unidades geomorfoedafológicas y (3) tipos de cobertura vegetal y uso del suelo.

Zonas bioclimáticas

El clima es el factor ambiental de primer orden que determina la productividad primaria y la distribución geográfica de las especies en los ecosistemas terrestres, al influir directamente en la ecofisiología de los organismos (Walter 1973, Holdridge 1987, Huggett 1995). Las condiciones climáticas más relevantes para explicar la variación en la producción de biomasa por la fotosíntesis de las plantas son básicamente la temperatura, la precipitación pluvial y la humedad. La temperatura es un factor limitante de la fisiología de las plantas, que son capaces de acumular biomasa a través de la fotosíntesis en un rango de temperaturas entre los 0°C y los 30°C aproximadamente; el promedio anual de la temperatura dentro de este rango, definido por Holdridge (1987) como biotemperatura (Tbio), es un indicador de las condiciones de crecimiento de las plantas.

La precipitación pluvial anual (Ppa) indica la entrada de agua, el principal factor limitante de la productividad primaria en los ecosistemas terrestres. El tercer factor clave es el balance hídrico en los ecosistemas, que es resultado de la entrada de agua en la precipitación y su salida por evapotranspiración; la evapotranspiración potencial de un sitio puede estimarse en función de la temperatura y las condiciones de humedad y pueden evaluarse utilizando la razón de evapotranspiración potencial (RE_{TP}), que es un índice calculado dividiendo la evapotranspiración potencial entre la precipitación (Holdridge 1987).

Estos tres factores, Tbio, Ppa y RE_{TP}, junto con la disponibilidad de nutrientes del suelo, constituyen los controles de la productividad primaria y de la composición de las comunidades vegetales a escalas espaciales y temporales amplias (Walter 1973, Hugget 1995, Terradas 2001, Chapin *et ál*. 2002).

El Sistema de Zonas de Vida de Holdridge (1987), que a través de método relativamente sencillo permite una clasificación de unidades bioclimáticas relacionadas con la vegetación potencial, a través de la determinación de las zonas de vida con datos de Tbio, Ppa y RE_{TP} (figura 8).

Las condiciones del clima de una región o localidad indican también la probable incidencia de fenómenos meteorológicos extremos como huracanes, lluvias torrenciales,

sequías, heladas, etc., que son parte del régimen de perturbaciones que influye en la dinámica de los ecosistemas (Frelich 2006). El clima es también uno de los factores principales que determinan los regímenes potenciales de incendios(Jardel- *et ál.* 2009), ya que influye tanto en la acumulación de combustible potencial (biomasa), a través del control climático de la productividad primaria, como en la disponibilidad de combustible para los incendios, lo cual depende de la existencia de periodos de sequía (Falk *et ál.* 1997, Gedalof 2011,).

Unidades geomorfoedafológicas

Estas unidades caracterizan de manera integrada las condiciones de forma del terreno (morfología) y las características de los suelos determinadas por la interacción entre gradientes topográficos y la roca (material parental), bajo la influencia del clima y las interacciones con la biota a través del tiempo (Jenny 1941). La interpretación de la relación entre variables que describen la morfología del terreno, la roca y las propiedades de los suelos, permite hacer inferencias acerca de los procesos dinámicos de formación del relieve (morfogénesis) y del suelo (pedogénesis) que son relevantes para evaluar el potencial y las limitaciones de uso del suelo (Tricart 1977).

La forma del terreno puede caracterizarse cualitativamente a través de los patrones observables en el campo, en imágenes satelitales, fotografías aéreas o a través de la interpretación de mapas topográficos, y cuantitativamente a través de modelos digitales de elevación que permiten estimar parámetros morfométricos como el ángulo de inclinación de la pendiente, la disección vertical y la disección horizontal (Bocco *et ál*. 2010, Priego *et ál*. 2010). Las condiciones geomorfológicas influyen en la redistribución de la energía y los materiales en los ecosistemas terrestres (Pielou 2001) y producen variación en las condiciones ambientales que influyen en la productividad primaria y en la distribución de los organismos dentro de una misma zona bioclimática (variación intrazonal) (figura 9). Los gradientes topográficos (por ejemplo, el cambio gradual de forma e inclinación de la pendiente desde la cima de una montaña a sus laderas y de estas a un valle o una llanura), junto con la variación del sustrato geológico y la influencia del clima y la misma vegetación, producen la formación de catenas de suelos (Duchaufour 1970). Mientras que las geoformas convexas como las cimas y los parteaguas pierden humedad y partículas

finas y nutrientes del suelo por el escurrimiento del agua y la fuerza de gravedad, siendo más secas y menos fértiles; las geoformas cóncavas acumulan humedad y nutrientes, siendo más productivas para la vegetación. Las condiciones topográficas son también un factor clave en la exposición a la influencia de perturbaciones meteorológicas (Frelich 2006) e influyen en el comportamiento del fuego en los incendios forestales (Falk *et ál*. 1997).

La disección vertical y horizontal del terreno y el ángulo de inclinación de la pendiente indican la energía potencial para el escurrimiento de agua, el movimiento de partículas, materiales y nutrientes del suelo y la estabilidad del terreno, son por lo tanto factores clave para evaluar riesgos de erosión y el potencial de uso del suelo (Bocco *et ál*. 2005).
Las diferencias en exposición u orientación de las pendientes influyen en las condiciones microclimáticas (en el hemisferio norte las laderas sur reciben más radiación solar y son relativamente más cálidas que las laderas norte; el efecto de la exposición aumenta cuanto mayor es la latitud). Las cadenas montañosas forman barreras en la distribución de las masas de aire y la humedad; en la región de la Sierra de Manantlán la vertiente suroeste recibe más precipitación y es más húmeda que la ladera noreste, más seca, debido a la sombra orográfica (Ine 2000). Las masas de aire caliente y húmedo que ascienden por las cañadas orientadas hacia la línea costera crean condiciones más cálidas de las que podrían esperarse por la altitud, mientras que en hondonadas y valles pueden registrarse bajas temperaturas por inversiones térmicas.

Las geoformas y los gradientes topográficos, junto con la variación en la litología superficial (los tipos de roca) influyen en los tipos de suelo, produciendo variación intrazonal dentro de una misma zona bioclimática. Un ejemplo de esto es el patrón de distribución de bosque mesófilo de montaña en cañadas, hondonadas y barrancas y bosque de pino en laderas, parteaguas y cimas en la zona de clima templado-cálido húmedo (bosque húmedo montano bajo en la terminología de Holdridge; Jardel *et ál*. 2004b)o en la zonación topográfica de selva mediana subcaducifolia en geoformas cóncavas y selva baja caducifolia en geoformas convexas en la zona de bosque seco basal al oeste de la Rbsm (Jardel- *et ál.*2013).

En resumen, las zonas bioclimáticas y la variación geomorfológica y edáfica dentro de cada zona de vida,indican las condiciones ambientales que determinan la productividad

primaria, la fisonomía y la composición de la vegetación, y las condiciones de hábitat. La combinación de factores bioclimáticos y geomorfoedafológicos determina la vegetación potencial de un lugar en ausencia de perturbaciones.

Vegetación y uso del suelo

La cubierta vegetal, caracterizada por la fisonomía de la vegetación: formas de vida dominantes, altura, densidad, estratificación vertical, fenología, la biomasa vegetal y la composición de las comunidades de plantas, es una expresión de la influencia de los factores ambientales, clima, geomorfología, suelos, regímenes de perturbación e influencia humana, en la configuración del paisaje (Walter 1973, Holdridge 1987, Huggett 1995, Bailey 1996, Terradas 2001, Kruckeberg 2002). La vegetación influye a su vez, a través de interacciones biofísicas, en las condiciones del clima y en la formación de suelos, en las condiciones del hábitat de la fauna silvestre y la biota del suelo, y también en la disponibilidad de recursos y la generación de servicios ecosistémicos de los cuales dependen las sociedades humanas.

La caracterización y clasificación de la vegetación es importante para identificar unidades del paisaje que son objeto de intervenciones de manejo. La vegetación es un atributo observable del paisaje terrestre, a simple vista en el terreno o a través de medios de percepción a distancia, que permite caracterizar un conjunto de condiciones ecológicas diversas, ya que su fisonomía, estructura física y composición florística son una expresión de la influencia de gradientes de factores ambientales limitantes, regímenes de perturbación e intervenciones humanas. El tipo de vegetación que cubre una porción de la superficie terrestre nos sirve para caracterizar sus condiciones ambientales y para denominar a su vez tipos de hábitat y tipos de ecosistemas naturales o transformados por la influencia humana.

El uso del suelo, agrícola, ganadero, forestal o minero, la distribución de centros de población e infraestructura, la existencia de áreas dedicadas a la conservación, etc. es un indicador de las actividades humanas y su influencia en el paisaje, lo cual está determinado por factores sociales ,culturales, político-institucionales, económicos, demográficos, que varían espacialmente (geografía humana) y temporalmente (historia).

La cubierta vegetal de una unidad del paisaje puede caracterizarse por su fisonomía o apariencia, por su composición florística o por una combinación de criterios fisonómico-florísticos. Las unidades definidas fisonómicamente corresponden a *formaciones vegetales* y las unidades definidas florísticamente corresponden a *asociaciones florísticas.* Cuando se usan ambos tipos de criterios se trata de unidades *fisonómico-florísticas*. A continuación se explican estos términos.

Formación vegetal. Es una comunidad de plantas caracterizada por su fisonomía; corresponde a los grandes tipos de vegetación que caracterizan una unidad del paisaje. Las formaciones vegetales básicas se caracterizan por (González-Medrano 2004):

a. La forma de vida dominante: árboles (bosques), arbustos (matorrales), hierbas (herbazales).

b. La altura del estrato dominante (formaciones altas, medianas o bajas).

c. La densidad de la cubierta vegetal (formaciones densas o abiertas).

d. El tipo de hojas de las plantas dominantes (aciculifolias, escuamófilas, latifoliadas esclerófilas o membranosas, espinosas, crasas o suculentas, etc.).

La fenología de hojas que caracteriza la apariencia de la vegetación (perennifolia, subcaducifolia, caducifolia).

La fisonomía de una formación vegetal puede estar caracterizada por las características morfológicas (relacionadas principalmente con el tipo de hojas) de géneros o familias dominantes (por ejemplo coníferas o pináceas, encinos, cactáceas, etc.), que pueden definir sub-formaciones o sub-tipos de vegetación. Por ejemplo en México los bosques de latifoliadas esclerófilas de zonas de clima templado corresponden a bosques dominados por el género *Quercus* (bosques de encino) con una fisonomía característica que permite definirlos como un tipo de formación vegetal; es el mismo caso de las formaciones dominadas por *Pinus* (bosques de aciculifoliadas) o por plantas crasas o suculentas de la familia de las cactáceas (matorral crasicaule) o por plantas rosetófilas como los agaves (matorral rosetófilo) (Miranda & Hernández-Xolocotzi 1963).

Para la denominación de las formaciones vegetales pueden utilizarse nombres comunes siempre y cuando estos sean inequívocos y puedan aplicarse de manera consistente por observadores independientes a partir de reglas de nomenclatura basadas en atributos bien definidos (por ejemplo, manglar, sabana, chaparral, etc.). Lo mismo sucede con nombres aceptados y de uso generalizado por la comunidad científica (por ejemplo, bosque mesófilo de montaña).

Las características de las formaciones vegetales están determinadas principalmente por las condiciones bioclimáticas de temperatura, precipitación y humedad, consideradas como los factores de primer orden que influyen en la productividad primaria y en el desarrollo potencial de atributos como la altura, densidad y biomasa del conjunto de plantas. Cuando la formación corresponde a la vegetación potencial característica de una zona de vida o zona bioclimática, se trata de formaciones *zonales*. La variación en los factores ambientales limitantes (temperatura y humedad atmosféricas, agua y nutrientes del suelo, toxicidad de elementos o compuestos químicos del suelo, etc.) dentro de una misma zona bioclimática, asociada a gradientes determinados por las condiciones geomorfoedafológicas da lugar a formaciones vegetales que son variantes *intrazonales*. Los factores geomorfoedáficos se consideran como factores de segundo orden.

Clases de estructura. Dentro de una formación vegetal se presenta además variación en el estado de desarrollo de la vegetación después de eventos de perturbación, formando un mosaico de parches o rodales que corresponden a diferentes *clases de estructura* (por ejemplo, en el caso de bosques, renuevo, rodales jóvenes, maduros o sobremaduros) (figura 5). Las clases de estructura están determinadas por la influencia del régimen de perturbación y los patrones sucesionales característicos de una formación vegetal. Los regímenes de perturbación constituyen los factores de tercer orden que determinan las características de las formaciones vegetales. Regímenes con eventos de perturbación frecuentes o persistentes, pueden ser determinantes para el tipo de formación vegetal que se desarrolla en un lugar (por ejemplo, incendios frecuentes en bosques de pino, pastizales y sabanas, o vientos fuertes persistentes en bosques enanos de cimas de montaña).

Asociación florística. Una asociación florística se define por una composición de especies que se presentan de manera regular juntas, bajo ciertas condiciones ambientales. Las asociaciones pueden caracterizarse por la dominancia de una especie determinada y algunas especies que aparecen con menor abundancia como acompañantes, como es el caso de bosques de pino o encino, por una mezcla de especies que son codominantes, puede ser que no exista dominancia clara de alguna especie, como ocurre en los bosques mesófilos de montaña o las selvas altas perennifolias, pero que las especies que presentan mayor frecuencia puedan ser utilizadas para designar la asociación.

Los mapas forestales que se utilizaban para los programas de manejo, indicando la composición de especies (asociaciones florísticas) de los rodales como "pino", "encino", "pino-encino", "hojosas", además de información sobre clases de altura y espesura, presentaban información básica para la caracterización de hábitats.

Unidades de paisaje y tipos de hábitat

La combinación de información geográfica sobre el clima, la geomorfología y los suelos, la vegetación y el uso humano del suelo, permite la cartografía de unidades del paisaje como base para la caracterización y clasificación de hábitats y su aplicación en el manejo forestal para la zonificación del manejo (la clasificación de superficies a la que se refiere la Nom-152-Semarnat-2006, que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas) y el diseño de las prácticas de silvicultura, ordenación forestal, conservación biológica y mitigación de impacto ambiental.

En el ejemplo que se presenta en este trabajo, se elaboraron mapas de zonas bioclimáticas, unidades geomorfoedafológicas y tipos de vegetación y uso del suelo para clasificar unidades de paisaje. Cada unidad de paisaje representa un tipo de hábitat con condiciones ambientales específicas.

A partir de la clasificación de estas unidades de paisaje, puede analizarse su valor para la conservación con criterios como la biodiversidad que albergan o también su función

en la generación de servicios ecosistémicos (protección de cuencas y regulación hidrológica, captura de carbono, provisión de recursos naturales, valores culturales); pueden evaluarse también sus aptitudes y limitaciones para diferentes usos del suelo en función de objetivos de producción y conservación. Para las distintas unidades de paisaje clasificadas en función del clima, la geomorfoedafología, la cubierta vegetal y el uso actual del suelo, pueden definirse "usos recomendables del suelo", como base para la clasificación de superficies que establece la Nom-052-Semarnat-2006, de modo que la caracterización y clasificación de hábitat tiene utilidad para distintos fines relacionados del manejo forestal.

En el estudio de la Rbsm (Jardel-*et ál.* 2013), una vez que se identificaron los patrones del paisaje y su relación con los procesos ecológicos, se evaluaron los valores del área para la conservación, básicamente la importancia de hábitats por su biodiversidad y unicidad, así como las limitaciones y aptitudes de uso del suelo. Finalmente se elaboró la propuesta de sub zonificación, que servirá como marco de referencia para la elaboración posterior de ordenamientos territoriales comunitarios o de escala predial.

Cartografía utilizada

En esta sección se describe el tipo de mapas utilizados en la caracterización de hábitats de la Sierra de Manantlán. Los métodos están descritos con mayor detalle en los trabajos de Vélica-Zúñiga (2013) y Jardel-*et ál.* (2013).

Zonas bioclimaticas. Se elaboró un mapa de zonas de vida basado en el Sistema de Holdridge (1980), a partir de mapas digitales de temperatura y precipitación del Atlas Climático Digital de México (Uniatmos, Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Unam, 2012; Fernández-Eguarte *et ál.* 2010). Esta información está disponible en Internet y constituye actualmente la mejor base de información climática disponible para todo el país.

La información se trabajó a escala 1:250,000, la biotemperatura media anual (Tbio) se determinó como la suma de las temperaturas promedio anuales mínimas mayores a 0°C y máximas menores a 30°C para cada celda del mapa. En el área de estudio, dada su ubicación latitudinal, la temperatura media anual es aproximadamente igual a la biotemperatura

media anual. Debido a la escala de la información climática disponible, se hizo un ajuste del cálculo de la biotemperatura estimándola en función del gradiente altotérmico calculado con datos de estaciones meteorológicas de la región. Una vez obtenido el mapa de biotemperatura, este se traslapó con un mapa de precipitación media anual (Ppa) y las unidades resultantes fueron clasificadas de acuerdo con el diagrama de zonas de vida de Holdridge (1980). Se determinó la evapotranspiración potencial (ETP) multiplicando la biotemperatura por una constante (58.93) de acuerdo con Holdridge (1980) y la razón de evapotranspiración potencial (RETP, índice de humedad) se obtuvo dividiendo ETP/Pp.

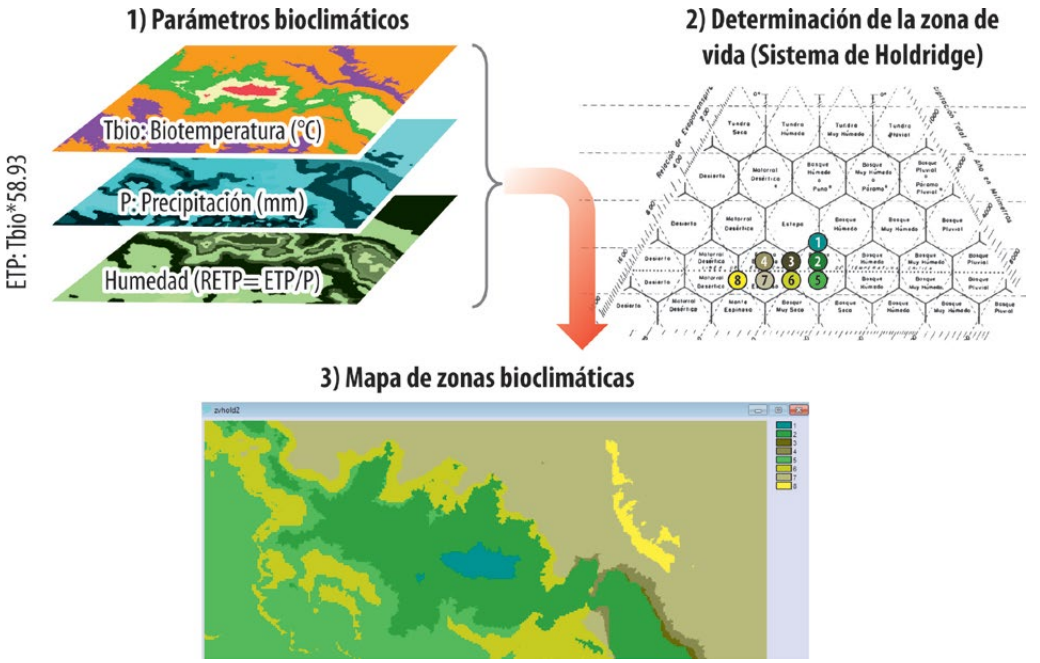


Figura 10. Proceso de elaboración del mapa de zonas bioclimáticas. Primero se elaboraron los mapas de los parámetros bioclimáticos a escala 1:250,000. El mapa de biotemperatura media anual (Tbio) se elaboró a partir del cruce de mapas de temperaturas mínimas (≥ 0°C) y máximas (≤ 30°C) anuales promedio, obteniendo categorías de Tbio con rangos de 1°C. El mapa de precipitación media anual se elaboró con categorías con rangos de 250 mm. Ambos mapas se cruzaron para obtener un mapa preliminar de zonas de vida, que luego se cruzó con el de la razón de evapotranspiración potencial (RETP), para obtener las categorías transicionales entre zonas de vida. El mapa de RETP se elaboró convirtiendo el mapa de biotemperatura a un mapa de evapotranspiración potencial (ETP), multiplicando el valor de la Tbio por la constante 58.93 (Holdridge 1980) y luego dividiendo la ETP entre la precipitación para cada celda del mapa. Para cada unidad resultante de la cruza de los tres mapas (Tbio, P y RETP) se determinó la zona de vida correspondiente en el diagrama de Holdridge (que aparece en la figura 8). Finalmente se obtuvo el mapa de zonas de vida o bioclimáticas. Fuente: Vélica-Zúñiga (2013) y Jardel *et ál.* (2013).

Cobertura vegetal y uso del suelo. Un mapa de la cobertura vegetal actual fue elaborado por interpretación visual de imágenes Spot de 2009 y clasificación interdependiente, utilizando como base las cartas de uso del suelo y vegetación de Cetenal (1976), escala 1:50,000. Los métodos se describen en detalle en el trabajo de Vélica-Zúñiga (2013). El mapa de vegetación-uso del suelo del área de estudio se muestra en la figura 12a.

En la clasificación visual interdependiente, un mapa de vegetación de una fecha anterior sirve de base para la clasificación de las categorías de vegetación del nuevo mapa actualizado (Fao 1996). Los mapas escala 1:50,000 de uso del suelo de Cetenal, elaborados en la década de 1970, siguen siendo hasta ahora los mejores productos cartográficos sobre la cubierta vegetal en muchas partes del país. Es recomendable utilizar la clasificación de la vegetación del Inegi como una referencia estandarizada a nivel nacional para la designación de los tipos de vegetación. Sin embargo, debe tomarse en consideración que los mapas más recientes de vegetación y uso del suelo con cobertura nacional, son escala 1:250,000, y que los polígonos de estos mapas tienen un nivel de generalización acorde con su escala, por lo cual no son adecuados para su uso cuando se requieren mapas de mayor detalle.

Mapas de hábitat a escala regional: bioclima y vegetación

Una clasificación de hábitats basada en la vegetación actual y las zonas bioclimáticas, puede ser utilizada en el nivel regional a escala 1:250,000, a partir de la cartografía de vegetación-uso del suelo de Inegi y mapas de zonas de vida.

Para una caracterización general de tipos de hábitat en el nivel regional, la combinación de mapas de zonas bioclimáticas y vegetación es útil para diferenciar la variación en las condiciones de hábitat asociada a cambios en las variables bioclimáticas y la composición de la vegetación.

En el estudio de la Sierra de Manantlán y su área circundante, la cruza de los mapas de vegetación y zonas bioclimáticas permitió diferenciar un mayor número de categorías que corresponden a unidades de vegetación que difieren en su composición florística debido a diferencias en las condiciones de temperatura, precipitación y humedad. El mapa de

vegetación distinguía 22 categorías, de las cuales 15 son coberturas forestales, mientras que el mapa resultante de la cruza vegetación actual/bioclima, permite diferenciar 26 categorías diferentes de hábitats forestales. Esto se debe a que unidades de vegetación como bosque de pino o bosque de encino aparecen en más de una zona bioclimática distinta y representan tipos de hábitat diferentes, con un clima, composición de especies y estructura de la vegetación diferentes (Cuadro 1, figura 11).

En el cuadro 1, donde se muestran los resultados finales de la clasificación de hábitats de la Sierra de Manantlán, puede verse que una misma formación vegetal o tipo fisonómico de vegetación, como puede ser bosque de pino, bosque de encino o selva baja caducifolia se encuentran en distintas zonas bioclimáticas. Esto indica que tal tipo de vegetación puede estar presente en zonas bioclimáticas que difieren en las condiciones de temperatura, precipitación y humedad; esto influye en la variación de su composición de especies y en otros aspectos como su potencial productivo.

En un país con una alta riqueza de especies de géneros como *Pinus* y *Quercus*, adaptados a una gran variedad de condiciones ecológicas (Rzedowski 1978), la combinación de mapas de zonas de vida y de vegetación, permite diferenciar como distintos tipos de hábitat unidades de vegetación que, aunque son similares por los géneros de plantas arbóreas dominantes, en realidad son diferentes por su composición de especies. Se muestra un ejemplo de tres tipos de bosques de pino distribuidos en tres zonas bioclimáticas diferentes: el "bosque de pino-encino húmedo montano bajo transición a basal (premontano)" de altitudes entre 1000 y 1500 msnm con condiciones semicálidas, compuesto por *Pinus oocarpa, P. maximinoii* y encinos (*Quercus magnoliifolia, Q. resinosa*); el "bosque de pino-encino húmedo montano bajo" donde domina *P. douglasiana* con mezcla de otras especies de pino (*P. herrerae, P. oocarpa*), encinos (*Q. scytophylla, Q. candicans*) y árboles latifoliados, que se encuentra a altitudes medias (1600-2400 msnm) con clima templado con verano cálido; y el "bosque de pino-encino húmedo montano alto", de altitudes entre 2400 y 2900 msnm con clima templado con verano fresco, donde la especie dominante es *P. pseudostrobus* y se encuentran también *Abies religiosa* y *Q. laurina* (figura 11).

Figura 11. Variación en los tipos de bosques de pino de la Sierra de Manantlán en distintas zonas bioclimáticas: (a) bosque de *Pinus oocarpa-Quercus resinosa* (Tbio 18°C, P 1300 mm, REtp 0.8); (b) bosque de *Pinus douglasiana* con latifoliadas (Tbio 15°C, P >1300 mm, REtp 0.7); (c) bosque de *Pinus pseudostrobus* con *Abies religiosa* (Tbio 11°C, P >1250 mm, REtp 0.5). Fotos: E. Jardel.

Geomorfoedafología. Para obtener este mapa (figura 12), primero se elaboró un mapa geomorfológico. A partir de un modelo digital de elevación, procesado en el programa *ArcInfo*, se elaboraron tres mapas de los índices morfométricos recomendados por Bocco *et ál*. (2005; ver también Bocco *et ál*. 2010 y Priego *et ál*. 2010): ángulo de inclinación de la pendiente, disección vertical y disección horizontal. Los tres mapas se convirtieron a formato de celdas en el programa *Idrisi Selva* (Eastman 2012), se traslaparon y se reclasificaron las categorías resultantes para definir unidades geomorfológicas como llanuras, colinas, lomeríos o montañas. La interpretación de las unidades resultantes se complementó con observaciones de campo en recorridos terrestres y con la observación de imágenes tridimensionales de Google Earth.

Se elaboró también un mapa con unidades de suelos y litología superficial (tipos de roca que constituyen el material parental del suelo) cruzando las cartas edafológica y geológica de Inegi escala 1:50,000.

Finalmente, los mapas de geomorfología y de suelos/litología superficial se traslaparon; las categorías resultantes fueron reclasificadas. Para esto se elaboró primero un cuadro sinóptico con la descripción de cada unidad geomorfoedafológica incluyendo el tipo de geoforma, roca y suelo, y los valores de los índices morfométricos (ángulo de las pendientes, disección vertical y disección horizontal). Además de servir para la clasificación de hábitat, este mapa es útil también para evaluar el uso potencial del suelo (Bocco *et ál*. 2005) y aporta información sobre la productividad potencial de sitio para la planificación del manejo forestal.

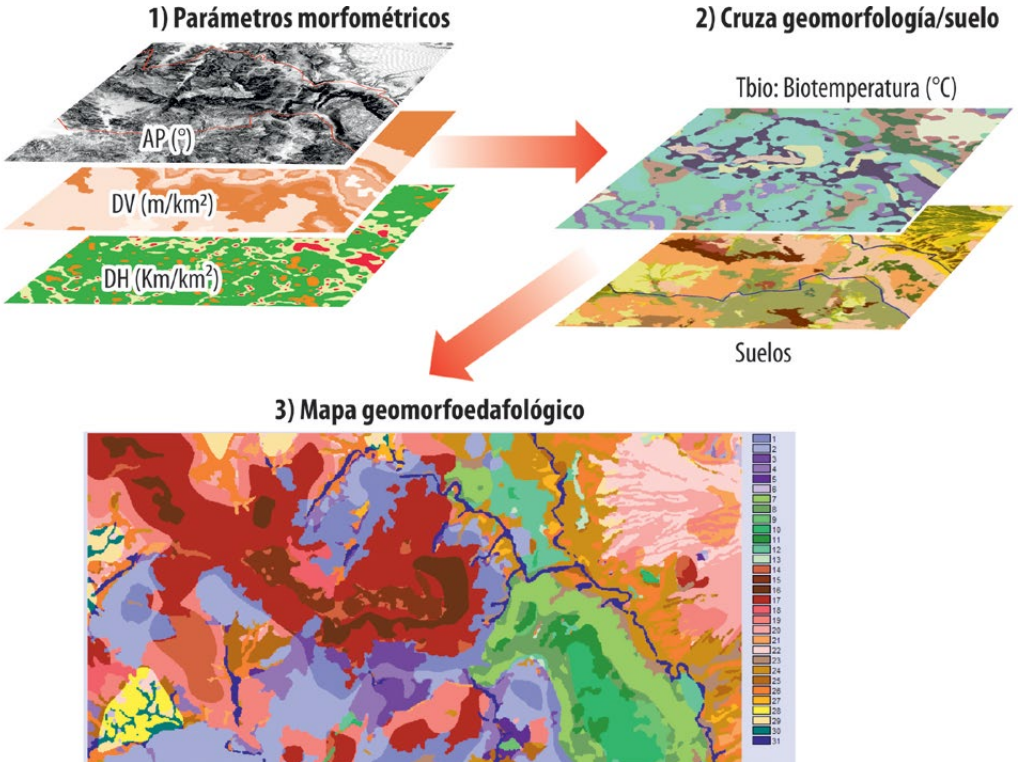


Figura 12. Proceso de elaboración del mapa geomorfoedafológico de la Sierra de Manantlán. Primero se elaboraron los mapas de parámetros morfométricos: disección vertical, que permite identificar grandes unidades morfológicas como llanuras, lomeríos, montañas, etc., disección vertical (que indica la densidad de drenaje) e inclinación de la pendiente (Bocco *et ál*. 2005). La cruza de estos mapas sirvió para generar el mapa geomorfológico. Luego se elaboró un mapa de suelos traslapando las cartas de Inegi de edafología y litología superficial (tipos de roca). Este mapa se traslapó a su vez con el mapa geomorfológico. Para reclasificar las unidades resultantes, se elaboró un cuadro descriptivo de cada categoría con información de las variables utilizadas (disección vertical, disección horizontal, ángulo de la pendiente, tipo de roca y tipo de suelo) y por último se hizo una reclasificación para obtener el mapa geomorfoedafológico final. Fuente: Jardel-*et ál*. (2013).

Como se señaló antes, dentro de una misma zona bioclimática existe variación intrazonal en la geomorfología y los suelos que a su vez es causa de diferencias en la vegetación. Esto se ilustra en la figura 13, donde se observan dos bosques de pino diferentes dentro de la zona de bosque húmedo montano bajo; en laderas bajas cóncavas donde los suelos son cambisoles sobre pórfido basáltico, el bosque está compuesto por *Pinus douglasiana* mezclado con latifoliadas, mientras que en laderas altas convexas con acrisoles derivados de toba volcánica, la especie de pino dominante es *Pinus herrerae*.

Figura 13. Variación intrazonal en la zona de vida de bosque húmedo montano bajo en el centro de la Sierra de Manantlán: (a) bosque de *Pinus douglasiana* con latifoliadas sobre cambisoles en laderas bajas cóncavas; (b) bosque de *Pinus herrerae* sobre acrisoles en laderas altas y cimas mesetiformes, convexas. Fotos: E. Jardel.

Clasificación de unidades de paisaje (hábitats)

Los métodos utilizados para la clasificación de las unidades de paisaje se basaron en el traslape de los mapas. Primero se cruzaron los mapas de cobertura vegetal y zonas bioclimáticas (figura 12) y se reclasificaron las unidades resultantes de la cruza; posteriormente el mapa de vegetación-bioclima se cruzó con el de unidades geomorfoedafológicas (figura 14) y se hizo la clasificación de las unidades ambientales resultantes como tipos de hábitats (figura 15).

Las unidades de paisaje que representan a los tipos de hábitat fueron definidas en función de tres conjuntos de factores ambientales: (a) las condiciones bioclimáticas, (b) las condiciones geomorfo-edafológicas, y (c) la cobertura vegetal y los usos actuales del suelo. Se elaboró un cuadro sinóptico describiendo las características de bioclima, geomorfoedafología y vegetación de cada tipo de hábitat (cuadro 1).

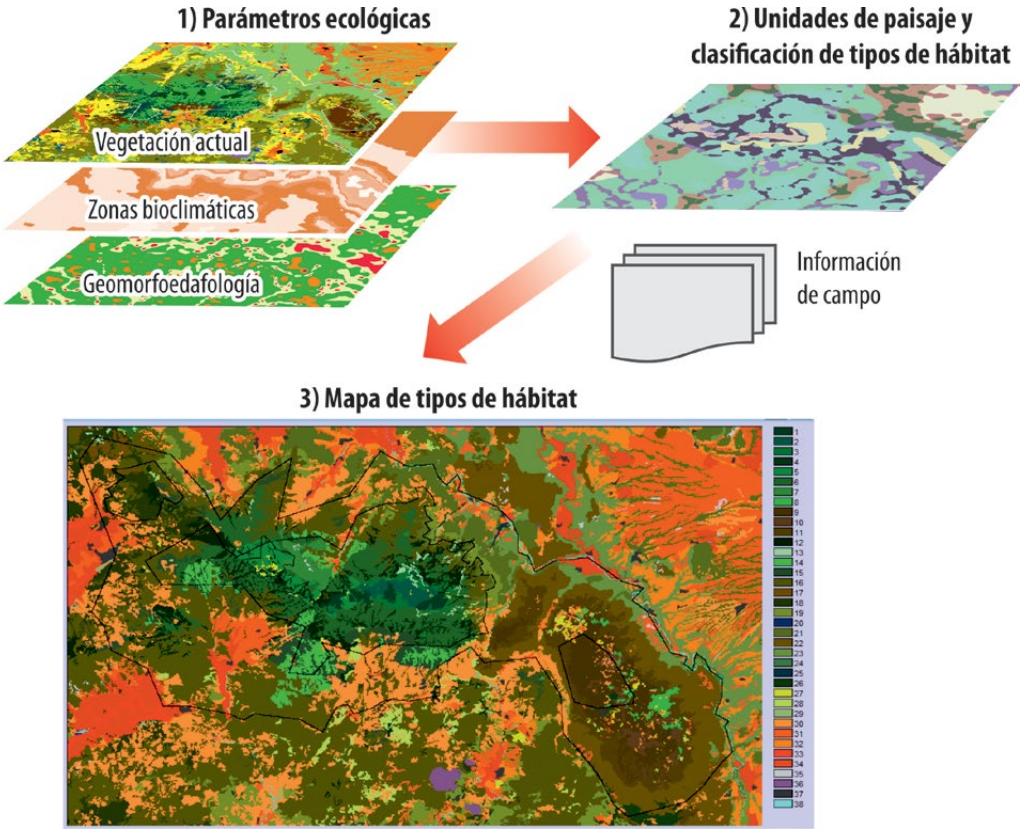


Figura 14. Proceso de elaboración del mapa de tipos de hábitat. Primero se cruzaron los mapas de vegetación actual y zonas bioclimáticas, reclasificando las categorías resultantes para producir un mapa de tipos de vegetación por zonas bioclimáticas; luego este mapa se cruzó con el de geomorfoedafología, obteniendo un mapa preliminar de unidades de paisaje que con información de campo (observaciones de recorridos en el terreno, datos de inventario forestal y estudios florísticos y de vegetación) se reclasificaron para obtener el mapa final de tipos de hábitat. En total el mapa presenta 38 categorías; de la 1 a la 26 son coberturas de bosques y selvas cuya leyenda se presenta en el cuadro 1; las categorías de la 27 a la 29 son formaciones vegetales secundarias (matorrales) que constituyen hábitat para algunas especies silvestres o que potencialmente pueden convertirse a bosque o selva; las categorías 30-34 corresponde a terrenos con uso agrícola, la 35 son áreas erosionadas o sin vegetación aparente, 36 minería a cielo abierto, 37 centros de población y 38 cuerpos de agua. Fuente: Jardel *et ál.* 2013.

Aplicación a la planificación territorial del manejo

Una vez clasificadas y descritas las unidades de paisaje, se procedió a analizar la importancia de cada tipo de hábitat en términos de su diversidad biológica, unicidad o extensión.

Se evaluó también la aptitud de uso del suelo de cada unidad considerando el potencial de los recursos bióticos en función del tipo de vegetación y su composición de especies y las condiciones bioclimáticas y geomorfoedafológicas que influyen en la productividad de la vegetación, así como los factores limitantes relacionados con el tipo de suelo, la inclinación de la pendiente y la disección vertical, en este análisis se tomó en consideración el uso actual del suelo.

Los usos potenciales considerados fueron los siguientes:

a. Uso agrícola. Dividido en cuatro categorías: (1) Agricultura I, potencial agrícola alto, con buenos suelos, en términos de fertilidad y profundidad y humedad, disponibilidad de riego o buen temporal; (2) Agricultura II, potencial agrícola medio (suelos con limitaciones por fertilidad, fijación de nutrientes, obstrucciones, inclinación, etc., pero que pueden ser solventadas con buenas prácticas de cultivo y; (3) Agricultura III, potencial agrícola bajo, generalmente en terrenos de ladera que han sido manejados históricamente bajo prácticas tradicionales de cultivo con ciclo de barbecho, pero que presentan fuertes limitaciones para la agricultura convencional. En las categorías II y III se requieren forzosamente prácticas de conservación de agua y suelo para mantener la productividad de los cultivos y evitar problemas críticos de erosión. La cuarta categoría, Agricultura IV, corresponde a terrenos de mediano a alto potencial agrícola pero con riesgo de inundación (áreas de cultivo establecidas en riberas o en terrenos que originalmente fueron humedales).

b. Uso agroforestal. Terrenos inclinados o con suelos con limitaciones, acidez, obstrucciones, problemas de fertilidad, para cultivo convencional, pero con potencial para sistemas agroforestales o silvopastoriles, en los que el mantenimiento de cobertura vegetal permanente controla la erosión y mejora la fertilidad del suelo.

c. Uso forestal. Áreas con cubierta boscosa; en función del tipo de bosque (composición

de especies aprovechables para productos forestales maderables o no maderables) y su productividad potencial -dadas las condiciones bioclimáticas y de suelos) y restricciones de uso (pendientes pronunciadas, suelos pobres, riesgo de erosión- se consideraron cuatro categorías: (1) Forestal I, potencial alto para producción intensiva de madera ,fundamentalmente bosques de pino y encino en terrenos con pendientes ligeras a moderadas, con suelos profundos y condiciones húmedas; (2) Forestal II, buen potencial de crecimiento pero limitaciones por la topografía que implican restricciones a la intensidad de corta y a la construcción de caminos o brechas; (3) Forestal III, sitios con suelos someros, condiciones secas y restricciones por la pendiente, donde es necesario mantener cobertura arbórea permanente, pero existe la posibilidad de producción de leña combustible, carbón, postería y productos no maderables , básicamente bosques secos de encino, y (4) Forestal IV, bosques de zonas estacionalmente secas, con suelos someros, predominio de pendientes fuertes, y alta diversidad de especies ,en general selva baja caducifolia, donde es necesario mantener cubierta forestal permanente pero es factible el aprovechamiento de productos forestales no maderables, postería, leña, carbón y madera de pequeñas dimensiones. En todos los casos se parte del supuesto de que se aplican prácticas de manejo para aprovechamiento sustentable.

d. Uso forestal de protección. Áreas con pendientes fuertemente inclinadas, suelos someros o fuerte disección vertical u horizontal, que limitan la posibilidad de un aprovechamiento forestal sustentable y tipos de vegetación o hábitat considerados como prioritarios para la conservación por su biodiversidad, sus funciones de protección de suelos y cauces de agua o su distribución restringida. En el área de estudio esto incluyó bosque mesófilo de montaña, selva mediana subcaducifolia, bosques de galería, humedales y vegetación de afloramientos rocosos.

e. Restauración o rehabilitación. Áreas desmontadas, desprovistas de cubierta vegetal o con problemas de erosión, en las cuales se recomiendan intervenciones de restauración ecológica para incorporarse en el futuro a los bosques de protección o bien de rehabilitación productiva para usos forestales, agroforestales o agrícolas. Se incluye además la remediación en áreas afectadas por minería a tajo abierto.

Bosque mesófilo de montaña con *Podocarpus reichei* en la Sierra de Manantlán, Jalisco.
Foto: Enrique Jardel.

No se consideró el uso ganadero como criterio para estas categorías de aptitud de uso del suelo, ya que se consideró a la ganadería como una actividad subordinada a los usos agrícolas y forestales. La producción de cultivos forrajeros o el apacentamiento de ganado en pastizales cultivados o inducidos puede realizarse en las áreas con potencial agrícola, aunque es una forma de uso ineficiente desde el punto de vista ecológico, siendo más recomendable el aprovechamiento de esquilmos, residuos o subproductos de los cultivos agrícolas como forrajes y el apacentamiento de ganado en áreas de cultivo durante el periodo de barbecho. En un área donde no existen extensiones significativas de pastizales naturales y donde el potencial forrajero de las plantas nativas se encuentra en la vegetación forestal, se consideró que la ganadería puede ser parte de sistemas silvopastoriles o bien del manejo de agostaderos cerriles con cobertura arbórea o arbustiva, y que ni existe un buen potencial de uso del suelo para pastizales ni este es un uso del suelo recomendable con criterios de sustentabilidad ecológica y de viabilidad económica.

La asignación de los usos recomendables del suelo se hizo en función del análisis de aptitud de uso del suelo a partir de juicio experto, respaldado con la revisión de la literatura, considerando la descripción de las características ambientales y funcionales de las unidades del paisaje.

Finalmente, para la propuesta de sub zonificación o clasificación de superficies, se utilizaron criterios adicionales basados en el concepto del "ABCD del manejo de ecosistemas forestales" (Jardel 2014a). Los criterios para la priorización de áreas de conservación dentro de la RBSM y su región de influencia, fueron los siguientes:

a. Conservación de agua y suelos: protección de los bosques en las cabeceras de cuenca, riberas de cuerpos de agua, áreas de captación de agua y terrenos con pendientes fuertes y alto riesgo de erosión, donde una cubierta vegetal permanente es necesaria para la protección del suelo.

b. Conservación de biodiversidad: protección de hábitats con alta riqueza de especies, endemismos o condiciones de interés ecológico particular como corredores biológicos, cuerpos de agua y humedales, acantilados, etc.

c. Mantenimiento de cobertura de masas forestales extensas y continuas, ya sea como bosques de protección o de producción, con alta biomasa y productividad, almacenamiento y captura de carbono, esenciales para la regulación de las condiciones del clima.

d. Condiciones que representan la variación natural o histórica de tipos de hábitat y clases de estructura en el mosaico de vegetación, considerando su régimen dinámico, perturbaciones y sucesión, como base para el diseño de prescripciones de manejo, incluyendo manejo de hábitat, manejo del fuego, silvicultura y restauración.

e. Existencias y potencial de aprovechamiento de recursos naturales renovables.

f. Restricciones de aprovechamiento de recursos naturales en función de factores limitantes para la producción forestal como productividad de sitio y vulnerabilidad a erosión y agentes de perturbación naturales o antropogénicos. El enfoque es el mismo que el utilizado en los mapas de capacidad de uso del suelo.

g. Elementos del paisaje y sitios con restos arqueológicos o construcciones históricas que representan valores culturales.

En función de las condiciones ambientales y la diversidad biológica, se definieron los criterios de zonificación o clasificación de superficies, dando prioridad a la protección de aquellos hábitats con condiciones de alta diversidad o unicidad desde el punto de vista biológico y a las cabeceras de cuencas. El ejemplo presentado puede aplicarse a la planificación territorial de la conservación biológica y el manejo forestal a nivel de estudios regionales o de unidades de manejo extensas, de más de 50,000 ha (la RBSM tiene una extensión de 139,570 ha y el área de los mapas del ejemplo es más del doble, 316,000 ha).

Aplicación al nivel predial

El esfuerzo de análisis geoecológico para la determinación de unidades del paisaje y la caracterización y clasificación de hábitats a nivel regional, elaborado en el ejemplo presentado a escala 1:50,000, puede aplicarse directamente a nivel predial, complementándolo con información derivada de los inventarios forestales y observaciones de campo sistematizadas, que aporten información más detallada para describir la composición y estructura de la vegetación a nivel de asociaciones florísticas y clases de estructura.

La figura 15 muestra un recorte del mapa de hábitats, para un área que incluye un conjunto de predios (en el ejemplo, la Estación Científica Las Joyas, un área dedicada a la investigación, la educación y la conservación, terrenos del Ejido Ahuacapán y parte de tres predios privados). El recorte tiene unas dimensiones aproximadas de 7 × 10 km, unas 7,000 ha.

Las características de la vegetación, que permiten reconocer a las unidades de paisaje o hábitats presentes en esta área[5], se ilustran en las fotografías de las figuras 16 y 17. La figura 16 muestra los tipos de hábitat en el área utilizada como ejemplo; la figura 17 muestra subtipos de estos hábitats, que corresponden a clases de estructura de la vegetación, en distintas etapas de la sucesión después de perturbaciones como incendios severos o tratamientos de corta de regeneración.

La identificación de subtipos de hábitat a nivel predial, puede hacerse de manera cualitativa en una primera etapa de estudio. Utilizando el mapa de hábitats (figura 15) como referencia, se pueden hacer reconocimientos de campo para identificar dentro de cada tipo de hábitat subtipos correspondientes a clases de estructura o etapas de desarrollo sucesional. La identificación y descripción de estas clases de estructura, puede acompañarse de fotografías representativas (cómo las que se muestran en las figuras16 y 17), para facilitar su identificación por observadores independientes en el campo.
En la figura 18 se presenta un esquema de las fases de la sucesión en bosques húmedos

[5] La descripción de la vegetación del área del ejemplo se encuentra en Jardel-Peláez *et ál*. (2004 a).

montanos del área de estudio. Cada fase corresponde a una clase de estructura y asociación florística y puede considerarse como un tipo o subtipo de hábitat. Se muestran también gráficos de la distribución de diámetros que, junto con datos de área basal, cobertura de dosel, riqueza y abundancia de las especies arbóreas, abundancia de estructuras como árboles muertos en pie, con cavidades o material leñoso grueso (troncos caídos), a partir de datos de inventario, aportan información cuantitativa para la descripción de los hábitats forestales.

Esta clasificación cualitativa de las clases de estructura, integrada por un texto descriptivo y las fotografías, sirve de base para la elaboración de mapas a una escala más fina, diferenciando dentro de los tipos de hábitat generales subtipos de hábitat que varían en sus características estructurales. Estos subtipos de hábitat pueden describirse luego con mayor detalle a partir de observaciones de campo sistematizadas y del uso de la información generada en el inventario de recursos forestales, como se discute en la siguiente sección.

Una vez que se cuenta con los mapas de hábitat basados en la combinación de tipos de vegetación, zonas bioclimáticas y unidades geomorfoedafológicas, es posible entonces seleccionar una serie de indicadores que aporten información acerca de la configuración del paisaje de la región, subregión o unidad de manejo de interés. Varios tipos de indicadores de la configuración de paisajes con aplicaciones para la planificación territorial de la conservación han sido desarrollados (McGarigal 2002, 2009, Cushman *et ál.* 2008, Kupfer 2012), y se cuenta con programas de cómputo para su aplicación, como es el caso de *Fragstats* (McGarigal & Marks 1995, 2002).

Algunos de estos indicadores que describen la configuración del paisaje son los siguientes:

a. Composición de hábitats: El listado de tipos de hábitat presentes en el área de estudio.

b. Superficie por tipo de hábitat: Suma total del área ocupada por cada tipo de hábitat dentro del área de estudio, que puede expresarse en valores absolutos (número de hectáreas) o relativos (porcentaje del área de estudio ocupado por tipo de hábitat).

c. Riqueza de hábitats: Número de tipos de hábitat presentes en la unidad de estudio.

d. Diversidad de hábitats: Al igual que con la diversidad de especies, pueden estimarse índices de diversidad y equidad (Magurran 1988), en este caso utilizando la riqueza de hábitats (número de hábitats diferentes) y la superficie de cada tipo de éstos.

Otros indicadores pueden utilizarse para evaluar las condiciones de un hábitat en particular en términos de su extensión, fragmentación y conectividad, a nivel de la categoría en general o de los parches, lo cual aporta información para evaluar el estado de ese hábitat y definir acciones para su manejo. Algunos ejemplos de estos indicadores son (ver McGarigal & Marks 1995, McGarigal 2002, 2009, Kupfer 2012):

a. Tamaño de los parches: La superficie promedio, la variación en el tamaño o la distribución de frecuencias del tamaño de los parches o rodales del tipo de hábitat de interés.

b. Forma de los parches: Para cada tipo de hábitat se pueden estimar medidas de forma representadas por la relación perímetro-área o dimensión fractal de los parches; en el programa *Fragstats* (McGarigal & Marks 1995, McGarigal 2002, 2009) se presentan varios índices de forma de los parches.

c. Condiciones de borde: Pueden determinarse los tipos de borde entre un hábitat determinado y los hábitats circundantes naturales o transformados, si estos bordes son suaves, bosque-bosque, esto es, entre tipos diferentes de bosque, o abruptos, borde bosque-áreas abiertas como cultivos y pastizales, y cuál es la proporción de cada tipo de borde (Santiago-Pérez 2006). Pueden estimarse también la proporción de la superficie de borde respecto a la superficie interior de los parches o rodales.

d. Dispersión y proximidad o aislamiento de los parches del hábitat.

e. Conectividad entre los parches de hábitat.

Estos indicadores pueden servir para evaluar el estado de la configuración del paisaje al elaborar un programa de manejo y para monitorear posteriormente los efectos de las intervenciones de manejo a escala del paisaje.

La clasificación de hábitats a escala del paisaje es la base de información necesaria para incorporar criterios y directrices de conservación en la clasificación de superficies dentro de los programas de manejo forestal, que establece la Nom-152-Semarnat-2006; esta clasificación de superficies es un instrumento fundamental para la conservación de biodiversidad en bosques de producción, ya que a partir de esta se establecen áreas de conservación o bien se definen las prácticas de manejo para la conservación de biodiversidad y las intensidades de aprovechamiento en las áreas de producción (Jardel 2014b).

Cuadro 1. Tipos de hábitat de la Sierra de Manantlán (Jardel *et ál*. 2013). Los tipos de hábitat corresponden a las categorías numeradas (CAT) y están divididos en las dos grandes unidades fisiográficas del área de estudio (Sierras de Manantlán-Perote-El Mamey, y Cerro Grande-Sierra de Tuxcacuexco).

Sierra de Manantlán-Perote-El Mamey			
CAT	Clave	**Vegetación**	
		Tipo de vegetación	Especies características
Bosque húmedo montano alto			
1	CM	Bosque mixto de coníferas y latifoliadas	*Abies religiosa, Pinus pseudostrobus, Cupressus lusitanica, Quercus laurina, Alnus jorullensis*
2	PQA	Bosque de pino-encino-oyamel	*P. pseudostrobus-Q. laurina (A. religiosa, A. jorullensis)*
3	PMA	Bosque de pino montano alto	*Pinus durangensis; P. pseudostrobus (Q. laurina); P. montezumae (Quercus crassifolia)*
Bosque húmedo montano bajo			
5	PL	Bosque mixto de pino-latifoliadas	*Pinus douglasiana, P. herrerae (P. oocarpa), Quercus spp., Carpinus tropicalis, Cornus disciflora, Clethra fragans*
6	PQ1	Bosque de pino-encino	*P. douglasiana, P. herrerae, P. oocarpa, Quercus* spp., *Arbutus xalapensis*
7	PQ2	Bosque de pino-encino	*P. herrerae, P. oocarpa, P. douglasiana, Quercus* spp., *A. xalapensis*
12	MM	Bosque mesófilo de montaña	*Carpinus tropicalis, Cornus disciflora, Fraxinus uhdei, Dendropanax arboreus, Magnolia iltisiana, Quercus xalapensis, Zinowiewia concinna,* etc.
13	AR	Vegetación de afloramientos rocosos	*Agave maximiliana, Brickelia squarrosa, Eryngium palmeri,* etc.*; P. durangensis*

Alt (m)	Bioclima			Geomorfoedafología		
	Tbio (°C)	PP (mm)	RE_{TP}	Geoforma	Suelo	Roca
> 2400	10-12	1200-1900	0.50-0.70			
2558	12	1250	0.56	Cimas y hondonadas	Cambisol	IgeT
2682	11	1250	0.52	Cimas y hondonadas	Cambisol	IgeT
2659	11	1247	0.53	Cimas y laderas altas	Litosol-Regosol	IgeT
1600-2400	12-17	1200-1900	0.6-0.9			
2045	15	1294	0.7	Cimas y hondonadas	Cambisol	IgeT
1962	15	1267	0.7	Cimas y laderas altas	Regosol-Litosol	IgeT
1934	15	1264	0.7	Cimas redondeadas	Acrisol	IgeT
1667	17	1270	0.8	Hondonadas y barrancas	Regosol-Litosol-Cambisol	IgeT-IgiK
2084	14	1213	0.7	Escarpes rocosos	Litosol	IgeT

Sierra de Manantlán-Perote-El Mamey			
CAT	Clave	Vegetación	
		Tipo de vegetación	Especies características
Bosque húmedo "premontano"			
14	PQ3	Bosque de pino-encino	*Pinus maximinoi, P. oocarpa, Quercus* spp.
15	QL2	Bosque mixto de encino-latifoliadas	*Quercus salicifolia, Q. uxoris, Q. insignis;* latifoliadas de bosque mesófilo de montaña
16	QC2	Bosque de encino caducifolio	*Quercus magnoliifolia, Q. resinosa*
17	SM-SB	Selva mediana-Selva baja caducifolia-encinar	*Hura polyandra, Ficus petiolaris, Cochlospermum vitifolium, Lysiloma* spp.,*Quercus* spp.*; Otatea acuminata* ssp. *aztecorum*
Bosque húmedo basal			
18	SM1	Selva mediana subcaducifolia	Variable
19	SB1	Selva baja caducifolia subhúmeda	Variable
Bosque seco basal			
21	SB2	Selva baja caducifolia seca	Variable
23	SB3	Selva baja caducifolia muy seca	Variable
Riberas, terrazas aluviales y humedales			
25	BG	Bosque de galería	*Salix bomplandiana, Astianthus viminalis*
20	TU	Tular	*Typha dominguensis*
24	MZ	Mezquital	*Prosopis laevigata*

Alt (m)	Bioclima			Geomorfoedafología		
	Tbio (°C)	PP (mm)	REtp	Geoforma	Suelo	Roca
1000-1600	17-20	1000-1500	0.6-0.9			
1514	18	1305	0.8	Laderas de montaña	Regosol-Litosol	IgiK
1399	18	1308	0.8	Laderas de montaña	Regosol-Litosol	IgiK
1055	20	1319	0.9	Laderas de montaña	Regosol-Litosol	IgiK-IgeT
1090	19	1155	1.0	Laderas de montaña y barrancas	Regosol-Litosol	IgeT
< 1000	20-24	1200-1800	0.5-1.0			
780	21	1373	0.9	Hondonadas y barrancas	Regosol y otros	Iget-IgiK-SaC
947	20	1246	0.9	Laderas de montaña	Regosol-Litosol	IgiK-IgeT
< 1200	18-24	500-1000	1.0-2.0			
1083	19	871	1.3	Lomeríos y barrancas	Regosol	IgiK-IgeT
844	20	795	1.5	Lomeríos y barrancas	Regosol	Ar-cgC
833	20	864	1.4	Riberas y terrazas aluviales	Fluvisol	Varios
550	21	1580	0.8	Llanuras y depresiones inundables	Gleysol	SaC
660	21	735	1.7	Terrazas aluviales	Regosol	Ar-cgC

Cuadro 1.Continuación.

Cerro Grande y Sierra de Tuxcacuesco			
CAT	Clave	Vegetación	
		Tipo de vegetación	Especies características
Bosque húmedo montano bajo			
4	CM2	Bosque mixto de coníferas	*A. religiosa, P. pseudostrobus, Quercus crassipes, Q. laurina, A. jorullensis (Cupressus lusitanica)*
8	PQ2d	Bosque de pino-encino	*P. pseudostrobus, P. devoniana, Q. obtusata, Q. castanea*
9	QL1	Bosque de encino-latifoliadas	*Quercus candicans, Q. rugosa, Q. laurina, Ternstroemia lineata, Oreopanax xalapensis, Styrax argenteus*
10	QS	Bosque de encino subcaducifolio	*Quercus crassipes, Pinus pseudostrobus, P. leiophylla, Prunus serotina*
11	QC1	Bosque de encino caducifolio	*Quercus castanea, Arbutus xalapensis*
Bosque seco basal			
22	SB4	Selva baja caducifolia	*Otatea acuminata* ssp. *aztecorum*
26	SM2	Selva mediana subcaducifolia	*Brosimum alicastrum, Bursera simaruba, Ficus* spp. *Cecropia obtusifolia*

Alt (m)	Bioclima			Geomorfoedafología		
	Tbio (°C)	PP (mm)	REtp	Geoforma	Suelo	Roca
2419	12	1150.0	0.63	Cimas y hondonadas	Andosol-Litosol	CzK
2174	14	1060.3	0.76	Cimas redondeadas	Cambisol	CzK
2259	13	1131.1	0.70	Meseta kárstica	Andosol-Luvisol	CzK
2248	13	1131.2	0.70	Meseta kárstica	Andosol-Luvisol	CzK
1842	16	1029.2	0.90	Laderas de montaña	Litosol	CzK
< 1200	18-24	500-1100	1.0-1.5			
1179	19	916.5	1.2	Laderas de montaña	Litosol	CzK
957	20	1061.5	1.1	Hondonadas y barrancas	Litoslo	CzK

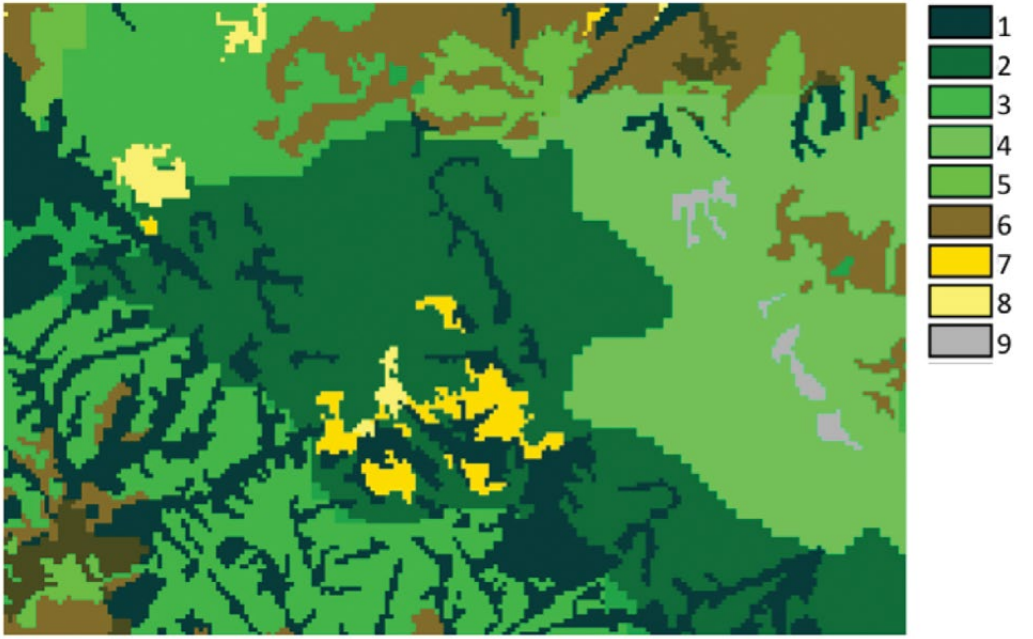


Figura 15. Recorte del mapa de hábitats de la Sierra de Manantlán. El área es de 7000 ha, y muestra la variedad de tipos de hábitat que pueden encontrarse en un predio con esa superficie. Los tipos de hábitat son (ver cuadro 1 para el acrónimo): (1) **MM** bosque mesófilo de montaña, (2) **PL** bosque mixto de pino latifoliadas, (3) **PQ1** bosque de pino-encino (*Pinus douglasiana*), (4) **PQ2** bosque de pino-encino (*P. herrerae*), (5) **PQ3** bosque de pino-encino (*P. oocarpa*), (6) **QC2** bosque de encino caducifolio, (7) **MAT** matorral secundario, (8) **PAS** pastizal-matorral y (9) **ERO** áreas erosionadas sin vegetación aparente. Observaciones sistemáticas de campo y datos de inventario forestal, sirven para una descripción más detallada de los hábitats a esta escala. La figura 16 muestran fotografías representativas los hábitats que aparecen en el mapa. Fuente: Jardel *et ál.* (2013).

MM – Bosque mesófilo de montaña

PL – Bosque de *Pinus douglasiana*-latifoliadas

PQ1 – Bosque de *P. douglasiana-Quercus*

PQ2 – Bosque de *P. Herrerae-Quercus* spp.

Figura 16 a. Tipos de hábitat del área del mapa de la figura 15. La zona bioclimática corresponde a bosque húmedo montano bajo subtropical. El bosque de latifoliadas (mesófilo de montaña, **MM**) se encuentra en hondonadas y cañadas sobre cambisoles. El bosque mixto de *Pinus douglasiana*-latifoliadas (**PL**) está asociado a laderas bajas o medias y hondonadas sobre cambisoles. El bosque de *Pinus douglasiana-Quercus* (**PQ1**) predomina en posiciones topográficas altas sobre regosoles. El bosque de *Pinus herrerae-Quercus* (**PQ2**) se encuentra en colinas redondeadas sobre acrisoles. Fotos: E. Jardel.

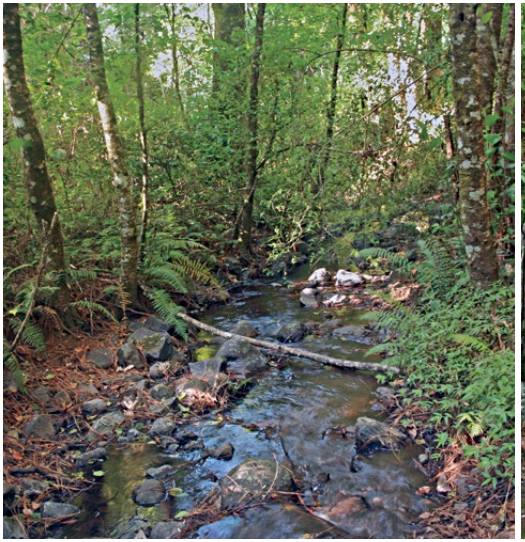
PQ3 – Bosque de *P. oocarpa-P. maximinoi-Quercus* spp.

QC2 – Bosque caducifolio de *Quercus* spp.

MAT – matorral secundario.

P-M – pastizal-matorral.

Figura 16 b. Tipos de hábitat del área del mapa de la figura 15 (continuación). Bosque de *Pinus oocarpa-P. maximinoi-Quercus* spp. (**PQ3**) y bosque caducifolio de *Quercus*spp. (**QC2**) en la zona de vida de bosque húmedo "premontano" (semicálido) sobre regosoles. El matorral y el pastizal-matorral son formaciones secundarias sobre terrenos agrícolas abandonados en sitios donde la vegetación potencial es bosque mesófilo de montaña o bosque mixto de pino-latifoliadas; aunque producto de perturbación antropogénica, estos dos hábitats presentan una alta riqueza de especies de plantas y animales y son parte de la variación histórica del paisaje del área. Los matorrales secundarios son utilizados como hábitat por aves migratorias y algunas endémicas. En el pastizal-matorral se pueden encontrar plantas de interés para la conservación como el maíz silvestre o teocintle endémico de la Sierra de Manantlán, *Zea diploperennis*, que se observa en la fotografía. Fotos: E. Jardel.



BGA – Bosque de galería de *Alnus acuminata*.

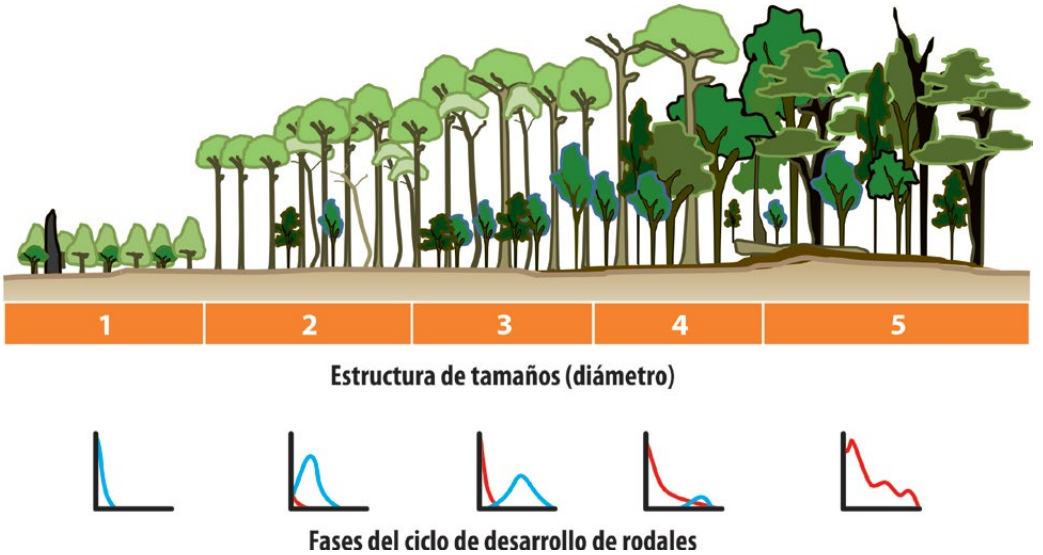
ACU – Cuerpos de agua.

VAR – Vegetación de afloramientos rocosos.

ERO – Áreas erosionadas o sin vegetación aparente.

Figura 16 c. Tipos de hábitat del área del mapa de la figura 15 (continuación). Los bosques de galería (**BGA**) juegan un papel importante en la protección de cauces y como corredores biológicos. Los arroyos y otros cuerpos de agua (**ACU**) son un recurso clave para la fauna silvestre y el hábitat de especies acuáticas, muchas de ellas raras o endémicas. En los afloramientos rocosos es común encontrar también especies raras o endémicas. Es importante también identificar hábitats degradados, como las áreas erosionadas (**ERO**) de la fotografía, para definir acciones de restauración ecológica o rehabilitación productiva. Fotos: E. Jardel y R. Ramírez Villeda.

Figura 17. Dentro de un mismo tipo de hábitat pueden identificarse diferentes clases de estructura (subtipos de hábitat) correspondientes a distintas etapas sucesionales o condiciones generadas por intervenciones de manejo. Arriba a la izquierda, renuevo de pino en un claro abierto por un incendio de remplazo de rodal; a la derecha, latizal de pino en un área de corta bajo silvicultura intensiva. Abajo a la izquierda bosque abierto de pino con sotobosque de pasto y a la derecha bosque de pino con subdosel de latifoliadas. Fotos: E. Jardel.



1. **Iniciación del rodal:** establecimiento en un claro de la 14 cohorte de árboles (dominan especies intolerantes a la sombra, de crecimiento rápido).
2. **Construcción I:** cierre del dosel y autoaclareo.
3. **Construcción II:** establecimiento de la 2ª cohorte (especies tolerantes); continua autoaclareo 1ª cohorte.
4. **Transición:** reemplazo de la 1ª por la 2ª cohorte en el dosel.
5. **Madurez.**

Figura 18. Clases de estructura características de la sucesión ecológica en el bosque húmedo montano bajo de la Sierra de Manantlán. Las fases de la sucesión corresponden a las de Oliver y Larson (1980). En las fases 1 a 3, los pinos constituyen las especies dominantes; en la fase 4 se observa la transición al dosel de las especies tolerantes a la sombra, establecidas en el sotobosque durante la fase 3; en la fase 5, dominan las latifoliadas y algunos de los pinos sobrevivientes de la primera cohorte de árboles aparecen dispersos (Jardel *et ál.* 2004b, 2014). Estas clases de estructura se ilustran también en las fotografías de la figura 18. En una clasificación de hábitats deben incluirse también las clases de estructura resultantes de las intervenciones de manejo silvícola.

Métodos de caracterización y clasificación de hábitat a escala de rodales

Contar con información de las condiciones de hábitat a nivel de rodales, es necesario para el diseño de buenas prácticas de manejo forestal dirigidas a la conservación de biodiversidad. Para esto se requiere información que permita determinar la heterogeneidad estructural de los rodales (Lindenmayer & Franklin 2002), lo cual debe incluir una descripción de su estructura vertical y horizontal, y la presencia de componentes, estructuras o microhábitats particulares (Vargas-Larreta 2013).

La caracterización de los hábitats puede hacerse a través de observaciones sistemáticas para obtener datos cualitativos o semicuantitativos que puedan registrarse en formatos de campo estandarizados que complementen la información en los sitios de muestreo de los inventarios forestales o en muestreos específicos de otros tipos de hábitat que son importantes para la conservación de la biodiversidad, aunque no tengan potencial maderable. El Anexo 01 presenta un formato para el levantamiento de datos de campo. La mayor parte de estos datos se basan en observaciones o mediciones sencillas. Pueden servir para propósitos puramente descriptivos o analizarse con métodos de análisis multivariado de clasificación u ordenación (Pojar *et ál.* 1987, Jongman *et ál.* 1995, McCune & Mefford 1999), para una caracterización más detallada y para determinar patrones de interés desde el punto de vista ecológico.

Otras técnicas de muestreo pueden ser utilizadas para obtener índices para la caracterización de la estructura de rodales, que aportan información sobre las condiciones de hábitat. Estos índices incluyen la evaluación de la mezcla de especies, la uniformidad de los rodales, la dominancia, y la diferenciación diamétrica y de altura (Aguirre *et ál.* 2003, Corral-Rivas *et ál.* 2006, Vargas-Larreta 2013).

La cuantificación de estructuras como la cobertura de arbustos o el material leñoso caído, que son componentes importante de los hábitats forestales, puede obtenerse a través de métodos de líneas de interceptación (Morfín-Ríos *et ál.* 2012; véase también Vargas-Larreta 2013).

Los datos de inventario forestal de madera aportan por su parte información utilizable para la caracterización de hábitat. A partir de los datos de inventario forestal, puede hacerse la descripción de la composición de especies arbóreas y de la fisonomía de la vegetación, para una caracterización más detallada de los tipos de hábitat, utilizando información cuantitativa sobre altura del dosel, densidad de la masa forestal, área basal, y estructura de tamaños, distribución del número de árboles por categorías de diámetro.

Los criterios de selección de indicadores para describir las características de los hábitats a escala de rodales, deben considerar aquellos elementos estructurales que son importantes para el mantenimiento de biodiversidad (Gardner 2010). Estos indicadores pueden seleccionarse considerando el precedente de lo que se ha usado en estudios previos reportados en la literatura científica, la experiencia práctica o estudios de referencia específicos. Sin duda existe una necesidad de investigación y validación de los indicadores que son apropiados para generar información útil que sirva de guía para monitorear y evaluar los resultados del manejo de hábitat en la conservación de biodiversidad.

Algunas de las características que deben reunir estos indicadores, son las siguientes (Gardner 2010):

a. Respuesta de cambio de los indicadores a las intervenciones de manejo.

b. Relevancia del cambio observado en los indicadores en cuanto a sus efectos sobre la biodiversidad, ya sea sobre especies individuales de interés o sobre grupos de especies.

c. Generalidad de la aplicación de los indicadores a través de diferentes sistemas de manejo y en distintos paisajes y regiones.

d. Factibilidad de medir los indicadores de manera costo-efectiva.

La información básica sobre los hábitats a escala de rodales se refieren a indicadores del tipo y estructura de la vegetación (asociaciones florísticas, fisonomía y clases de estructura) y condiciones de sitio (altitud y clima, topografía y suelos). El tipo de vegetación, definido a escala de rodal por la asociación florística y la clase de estructura, es el elemento más conspicuo que sirve para identificar una clase de hábitat. Las condiciones del clima son un factor clave que determina la composición de las comunidades de plantas y animales;

las condiciones topográficas y de suelos influyen directamente en la distribución de las especies de plantas, y las condiciones de la cubierta vegetal son un elemento clave del hábitat tanto para las plantas del sotobosque como para la fauna silvestre.

Para la clasificación de hábitats a escala de rodales, se recomienda la toma de datos sobre ciertos indicadores, la cual puede obtenerse del inventario forestal o punto de muestreo, por ser áreas excluidas del aprovechamiento maderable o no corresponder a coberturas boscosa, pero que constituyen hábitat para numerosas especies. Los indicadores o elementos clave para la caracterización de hábitat a escala de rodales, son los siguientes:

1. **Tipo de hábitat:** indicar la categoría correspondiente del mapa de hábitat definido como unidad ambiental o del paisaje en función de la zona de vida, el tipo de vegetación y las condiciones geomorfoedafológicas.

2. **Asociaciones florísticas:** indicar el tipo de asociación florística presente en el rodal donde se ubica el sitio de muestreo, señalando la especie dominante, la que representa 50% o más del área basal o la cobertura de copas en la vegetación arbolada, la especie codominante (la que sigue en importancia a la dominante en cobertura o área basal) y una especie distintiva, que puede ser arbórea o una especie arbustiva o herbácea abundante en el sotobosque. Por ejemplo en bosques de pino-encino: "asociación *Pinus pseudostrobus-Quercus laurina-Abies religiosa"*, "asociación *Pinus arizonica-P. teocote-Q. sideroxyla".* En rodales con un composición prácticamente monoespecífica, donde una sola especie representa más del 90% de la cobertura o área basal, puede usarse únicamente la especie arbórea y la especie más común del sotobosque, por ejemplo "asociación *Pinus hartweggii-Muhlenbergia macroura*". En asociaciones mixtas sin dominancia clara de un especie, puede usarse el nombre del tipo de vegetación y de una o dos especies que aparecen con mayor frecuencia que otras; por ejemplo "bosque mesófilo de montaña de *Carpinus tropicalis-Cornus disciflora*"o "selva alta perennifolia de *Swietenia macrophylla*". La designación de la asociación puede hacerse con base en observaciones sistemáticas de campo, complementada con datos cuantitativos del inventario forestal. Dada la variación local en las asociaciones, es importante establecer los criterios de nomenclatura en el lugar donde se hace la caracterización del hábitat para uniformizar la toma de datos.

3. **Clase de estructura:** las clases de estructura se refieren a etapas de desarrollo sucesional de los rodales o a condiciones creadas por eventos de perturbación como incendios o huracanes, o bien por intervenciones de corta (Figuras 17-18 y Anexo 01). La clases de estructura presentes en un área de estudio deben identificarse cualitativamente en recorridos de campo y describirse en un cuadro sinóptico, para luego poderse asignar sistemáticamente durante el levantamiento de los sitios de muestreo. Una primera clasificación de las estructura puede hacerse de manera cualitativa o semi-cuantitativa, elaborando perfiles de vegetación que describan la estratificación vertical de la vegetación,indicando los estratos como dosel, subdosel, arbustivo, herbáceo, y su altura, la densidad de los estratos de la vegetación,con clases de cobertura por estrato de la vegetación, y la estructura de edades cuando se presentan cohortes coetáneas, de dos edades ,por ejemplo en rodales tratados con cortas de regeneración de árboles padre) o multetáneas (edades múltiples). Una clasificación cualitativa de las clases de estructura, desarrollada a partir de las observaciones de campo, puede servir para asignar los sitios de muestreo del inventario forestal a cada clase o categoría de hábitat; bastaría con añadir a la hoja o cédula de campo un espacio para anotar esta información, que serviría para la verificación y ajuste del mapa de hábitats y para su uso en la clasificación de superficies.

   Una clasificación más formal y detallada de clases de estructura puede hacerse con datos cuantitativos elaborando perfiles de vegetación con datos de altura y densidad de los componentes de cada estrato de la vegetación, área basal y distribución de diámetros o edades.

4. **Estructura de edades:** la clasificación de los rodales por su estructura de edades es información básica para los inventarios forestales, y aporta información relevante para la caracterización de hábitats, permitiendo una mejor definición de las etapas de desarrollo de los rodales y las clases de estructura.

5. **Estructura de tamaños:** la información sobre la distribución de diámetros por especie o grupos de especies (pinos, encinos, latifoliadas u hojosas), es útil para caracterizar aspectos tales como la interpretación de la respuesta del estrato arbóreo a intervenciones silvícolas en el pasado o el futuro, y las posibles tendencias sucesionales (Jardel *et ál.* 2004b) o bien puede servir de guía para el diseño de las prescripciones silvícolas o aportar información sobre la distribución de productos maderables. Esta

información es útil para una mejor definición de clases de estructura. En los inventarios forestales generalmente solo se miden los árboles que pueden aprovecharse, con diámetros mayores a 10 o 15 cm, pero desde un punto de vista ecológico, para evaluar la dinámica de los rodales y sus posibles respuestas a intervenciones de manejo, y para caracterizar el hábitat, se requiere información acerca de todos los componentes del estrato arbóreo, incluyendo árboles pequeños y juveniles. Se recomienda un diámetro mínimo de medición de 2.5 cm y el conteo de todos los tallos leñosos que han pasado la altura de 1.30 m; estos árboles se pueden medir en sub-parcelas de menores dimensiones (100 m^2, por ejemplo) que las de los sitios donde se inventarían los árboles con diámetro mayor a 10 o 15 cm (parcelas de 500 o 1000 m^2). La figura 19 muestra un ejemplo de la diferencia en la distribución de diámetros de rodales que corresponden a distintas clases de estructura.

6. **Riqueza y diversidad de especies arbóreas:** la norma oficial, NOM-152-SEMARNAT-2006, señala que los inventarios forestales deben incluir información a nivel de especie en el caso de los árboles. Los datos de composición de especies arbóreas (listado de especies presentes, riqueza, abundancia por especie, valores de importancia e índices de diversidad y equidad) aportan información clave tanto para el monitoreo directo de biodiversidad como para una mejor caracterización del hábitat de la fauna y de plantas del sotobosque y epífitas. La diversidad del estrato arbóreo puede servir como un indicador subrogado de la diversidad total de las comunidades bióticas. A partir de los datos de composición, frecuencia, abundancia, densidad, valor de importancia, puede describirse la estructura y diversidad de la comunidad de plantas del estrato arbóreo y tener una mejor caracterización de hábitat. La información que puede obtenerse es la siguiente:

    6.1.1. Composición: Listado de las especies presentes en los rodales.
    6.1.2. Riqueza: Número total de especies presentes en los rodales.
    6.1.3. Abundancia por especie: Número de árboles (tallos) por unidad de superficie.
    6.1.4. Frecuencia por especie: Número de veces que una especie aparece en las unidades de muestreo dentro del rodal o estrato de muestreo.
    6.1.5. Densidad por especie: Área basal de cada especie.
    6.1.6. Valor de importancia: Suma de los valores porcentuales de frecuencia, abundancia y densidad relativas de cada especie.

6.1.7. Índices de diversidad y equidad: Existen varios tipos de índices de diversidad (ver Magurran 1988), que son calculados a partir de la relación entre la riqueza de especies y la abundancia por especie. Los datos de diversidad/equidad son útiles para fines comparativos entre distintos tipos de hábitat, pero no son de fácil interpretación. Una alternativa más práctica para su aplicación en el manejo forestal, cuando se trata de evaluar cambios en la diversidad de especies, es utilizar curvas de rangos de abundancia, las cuales permiten una interpretación visual de los componentes de los índice de diversidad y equidad (la riqueza de especies y la abundancia de cada especie, así como la distribución de la abundancia) y la posición de cada especie en cuanto a su abundancia.

7. **Componentes de hábitat.** Para la aplicación de buenas prácticas para la conservación de la biodiversidad en bosques manejados para la producción maderera, es importante contar con información sobre componentes estructurales del hábitat que juegan un papel clave para la conservación de ciertas especies. Estos componentes incluyen lo siguiente:

7.1.1. Árboles con cavidades.
7.1.2. Árboles con epífitas.
7.1.3. Árboles y arbustos fijadores de nitrógeno
7.1.4. Árboles y arbustos importantes para la alimentación de la fauna silvestre.
7.1.5. Árboles muertos en pie y tocones altos.
7.1.6. Material leñoso caído grueso (> 7.6 cm de diámetro)

Estos componentes pueden ser evaluados de manera semi-cuantitativa tomando únicamente información sobre su presencia en categorías de abundancia o densidad (por ejemplo 0=no presente, 1=baja, 2=intermedia, 3=alta) o, preferentemente, pueden ser cuantificados en los sitios de inventarios forestal.

Relaciones entre tipos de hábitat y especies

La aplicación de la caracterización y clasificación de hábitat a la planificación, evaluación y monitoreo del manejo forestal, puede inicialmente basarse en el uso de la información generada para tomar decisiones sobre la clasificación de superficies y el diseño de prescripciones de buenas prácticas de manejo a nivel de paisaje, de rodal o de sitio (cómo las propuestas en Vargas-Larreta 2013), para mantener un determinado balance en la superficie y distribución espacial de los tipos de hábitat y clases de estructura, conservar la variabilidad del mosaico de parches de hábitat, mantener o restaurar conectividad, proteger componentes del hábitat y mantener heterogeneidad estructural en los rodales (Lindenmayer & Franklin 2002, Lindenmayer *et ál.* 2006, Jardel 2014). Sin embargo, lo que se espera de conservar, restaurar o crear ciertas condiciones de hábitat, es que esto tenga un efecto positivo en la conservación de la diversidad de especies y en la persistencia de poblaciones de especies particulares que son consideradas como de alto valor para la conservación por sus funciones en los ecosistemas (especies clave), por su rareza o por estar amenazadas o en peligro de extinción.

El conocimiento y entendimiento de la relación entre las condiciones de hábitat, sus cambios espaciales y temporales bajo la influencia de las intervenciones de manejo y la dinámica de las comunidades y poblaciones de plantas y animales en un ecosistema forestal, requiere de estudios científicos de referencia (Gardner 2010) a escalas espaciales y temporales amplias. Esto requiere de una estrategia de investigación de largo plazo (Jardel-Peláez *et ál.* 2013), de estudios experimentales y de sistemas de monitoreo, con la cooperación de centros de investigación, unidades de servicios técnicos, dueños de terrenos forestales y el gobierno.

Cómo se ha señalado en otro documento (Jardel-Peláez 2014b), la incorporación de la conservación de la biodiversidad en los programas de manejo forestal, requiere de la generación de información y conocimiento que sirva de referencia, así como de herramientas metodológicas para la evaluación de la implementación de las prácticas de manejo. Esto requiere de una estrategia de colaboración entre centros de investigación y enseñanza, prestadores de servicios técnicos forestales, dueños de terrenos forestales y dependencias gubernamentales del sector medio ambiente y recursos naturales.

El conocimiento actual de temas como los requerimientos ambientales de especies de plantas vasculares y fauna silvestre, el uso de los hábitats y sus componentes por estas especies para su alimentación, reproducción, refugio, etc., y la respuesta de las especies a cambios espaciotemporales en los hábitats como consecuencia de las intervenciones de manejo, es aún limitado y debe ser objeto de estudio. En el corto plazo, la conservación de la diversidad de hábitats forestales es una manera de asegurar que se conservan las condiciones ambientales necesarias para la mayoría de las especies características de un lugar o región, mientras se avanza en un conocimiento más detallado que permita ir refinando paulatinamente las prácticas de manejo forestal para la conservación de biodiversidad.

Dependiendo de la información disponible, en el momento actual una alternativa para relacionar hábitat y especies, es incluir en los listados de flora y fauna que acompañan a los programas de manejo forestal información sobre la distribución de las especies por tipo de hábitat y clase de estructura, sobre la estación del año en que el hábitat es utilizado, el tipo de uso y, de ser posible, requerimientos especiales de las especies conocidas (Thomas 1979, Hoover & Wills 1984), obteniendo esta información a partir de la revisión de la literatura, incluyendo guías de campo para la identificación de especies y estudios científicos publicados.

Consideraciones finales

Esta guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales, presenta las bases conceptuales y una propuesta metodológica para cumplir una tarea indispensable en la elaboración de programas de manejo forestal en los que se incorporen objetivos de conservación de la biodiversidad.

La conservación de la diversidad de hábitats en el mosaico del paisaje y de componentes clave del hábitat en las áreas dedicadas a la producción, son los aspectos más básicos de la conservación de biodiversidad en bosques de producción (Lindenmayer & Franklin 2002, Lindenmayer *et ál.* 2006, Hunter & Gibbs 2009, Vargas-Larreta 2013, Jardel 2014a, 2014b). La elaboración de mapas de hábitat es una herramienta básica para la planificación de la conservación como parte de la elaboración de programas de manejo forestal.

Se recomienda incluir en los programas de manejo forestal un mapa de hábitats, acompañado de un cuadro descriptivo con información de cada clase o tipo de hábitat. Este cuadro debe incluir la siguiente información:

- Tipo o clase de hábitat, denominado por el tipo de vegetación, asociación florística y clase de estructura.
- Zona bioclimática (zona de vida).
- Unidad geomorfoedafológica.
- Estructura de edades (coetánea, bietánea o multietánea).
- Distribución de diámetros (gráfico).
- Densidad (área basal).
- Riqueza de especies arbóreas.
- Componentes de hábitat que deben ser considerados al establecer prescripciones de manejo silvícola (ver página 90).
- Importancia del hábitat para conservación de biodiversidad.
- Recomendaciones de manejo (aprovechamiento, conservación, restauración o rehabilitación productiva).

El mapa de hábitats y el cuadro descriptivo, servirán como información sobre la condición de referencia o "línea base" del programa de manejo forestal, y luego como referencia para monitoreo y evaluación de su implementación.

Las técnicas para la caracterización, clasificación y cartografía de hábitats requieren de personal especializado. La tarea de los prestadores de servicios técnicos forestales se facilitaría enormemente sí, en las regiones de reactivación de la producción forestal consideradas en la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento a la Producción y la Productividad Forestal, se invirtiera en la elaboración de los mapas de hábitat regionales a una escala apropiada. Esto serviría además para contar con una clasificación de hábitats estandarizada, que sirviera como un lenguaje común para la planificación de la conservación como parte de la elaboración de los programas de manejo forestal. Si los prestadores de servicios técnicos forestales contaran en sus respectivas regiones con estos mapas, podrían utilizarlos como base de información para la elaboración de los programas de manejo forestal, quedando solo la tarea de afinar la clasificación con los datos de inventario forestal y observaciones de campo sistematizadas a nivel de los predios o unidades de manejo. Contar con mapas regionales de hábitat serviría también para el monitoreo de las acciones de conservación, facilitando la tarea de seguimiento a los programas de apoyo y la supervisión de la implementación de los programas de manejo forestal.

La generación de información sobre las condiciones de los hábitats forestales, la distribución geográfica de las especies de plantas y animales, y los requerimientos de hábitat de las especies que deben ser considerados en el manejo forestal, es una tarea pendiente que requiere de un esfuerzo nacional y regional. Se recomienda desarrollar sistemas de información biológica para integrar esta información y hacerla disponible para facilitar y mejorar los programas de manejo forestal, cumpliendo con lo establecido en la Nom-152-Semarnat-2006 (ver Jardel 2014b). La colaboración entre la Comisión Nacional Forestal (Conafor), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), los centros de investigación y enseñanza, y las Unidades de Servicios Técnicos Forestales, es necesaria para generar las bases de datos con la información biológica necesaria para la planificación y monitoreo de la conservación de la biodiversidad como parte del manejo forestal.

En resumen, se recomienda la elaboración de la cartografía de hábitats y el desarrollo de sistemas de información biológica, como una tarea indispensable para contar con mejores programas de manejo forestal, que respondan a los objetivos de conservación biológica establecidos en las leyes, normas, estrategias y reglas de operación de los programas gubernamentales del sector medio ambiente y recursos naturales.

Las estrategias de conservación de la biodiversidad en el manejo forestal, pueden tener mayor efectividad y una mejor aplicación práctica si se basan en el manejo de hábitat que con un enfoque centrado en especies (Hunter 1996, Lindenmayer & Franklin 2002, Lindenmayer *et ál*. 2006, Jardel 2014a, 2014b). La propuesta de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de biodiversidad en ecosistemas de zonas templadas del norte de México (Vargas-Larreta 2013), así como otros estudios (Thomas 1979, Hoover & Wills 1984), se centran en el manejo de hábitat como la estrategia más integral para conservación de la biodiversidad, considerando que las especies tienen respuestas idiosincrásicas a los cambios en su entorno y a las intervenciones de manejo. En este sentido, es necesario conservar la variabilidad natural o histórica de los paisajes y ecosistemas forestales, de lo cual depende la existencia de diversidad de hábitats y de especies.

Anexo 1. Formato de campo para la toma de datos para la caracterización de hábitats a escala de rodal.

Predio _____ **Fecha** ____/____/____

Sitio N°

Localización (Coordenadas UTM)

X

Altitud _____ msnm **Pendiente** _____ %

Posición Toporáfica Cima ❑ Ladera A ❑ Ladera M ❑ Ladera B ❑ Llanura ❑ Barranca ❑ Ribera ❑ Mesa Parteagua ❑

Exposición N ❑ N ❑ S ❑ W ❑ Azimut _____

Zona bioclimática*

* De acuerdo con el mapa regional de zonas bioclimáticas

Unidad geomorfoedafológica*

* De acuerdo con el mapa regional de geomorfoedafología

Tipo de vegetación*

*De acuerdo con la carta de vegetación y uso del suelo del INEGI

Perfil de vegetación

Altura	
30 m-	
25 m-	
20 m-	
15 m-	
10 m-	
5 m-	
0 m-	

← 25m →

Especies arbóreas (Indicar cobertura de copas en porcentaje)

Dosel	Nombre Común	Nombre Científico	Cobertura (%)
Sp 1			
Sp 2			
Sp 3			
Sp 4			
Sp 5			

Subdosel	Nombre Común	Nombre Científico
Sp 1		
Sp 2		
Sp 3		
Sp 4		
Sp 5		

Árboles vivos (número por categoría de tamaño)

	< 5 cm	10-15 cm	15-30 cm	30-60 cm	> 60 cm	N° Arb. Con cavidades
Coníferas						
Encinos						
Latifoliadas						

Árboles muertos en pie (número por categoría de tamaño)

	<15 cm	15-30 cm	30-60 cm	> 60 cm
Coníferas				
Encinos				
Latifoliadas				

Abundancia de epífitas (bromelias, orquídeas, helechos, etc.)

Alta ❑ Media ❑ Baja ❑

Estrato Arbustivo Altura (m) _____ Cobertura (%) _____

Estrato Herbáceo Altura (m) _____ Cobertura (%) _____

Especies arbustivas y herbáceas comunes: _____

Material leñoso caído (Número de piezas que cruzan la línea central de la parcela; 25 m)

	<15 cm	15-30 cm	30-60 cm	> 60 cm
MLC Firme				
MLC Podrido				

Mantillo (hojarasca y MLC <15 cm)
Profundidad **cm**

Tipo de hojarasca	Cobertura		Profundidad	
Coníferas de acículas cortas		%		cm
Coníferas de acículas largas		%		cm
Latifoliadas esclerófilas		%		cm
Latifoliadas membranosas		%		cm
Latifoliadas micrófilas		%		cm

Asociación florística
Especie arbórea dominante _____

Segunda especie arbórea en importancia _____

Especie arbustiva o herbácea distintiva _____

Clase de estructura _____

Nombre de la persona que tomo los datos _____

Esta hoja de campo tiene el propósito de recabar información, sistematizada, de los hábitats forestales con cobertura arbórea. Esta información es complementaria a la que se obtiene de los inventarios de forestales para la evaluación de recursos maderables. Puede aplicarse tanto en los sitios de inventario, que generalmente se muestrean en las áreas con potencial productivo, como en otras áreas que, aunque tienen bajo potencial maderable, representan hábitats de interés para la conservación. Es también de utilidad para levantar puntos de verificación de campo para la cartografía de hábitats. La obtención de los datos puede hacerse en poco tiempo y a bajo costo.

Esta hoja de campo está pensada para ser utilizada en sitios de dimensiones fijas, circulares, de 500 m^2 de superficie (radio de 12.62 m, compensado con la pendiente) pero puede adaptarse a sitios más grandes o más pequeños, dependiendo del tipo de vegetación.

La primera parte de la hoja de campo incluye los datos de control (fecha del muestreo, predio, número de sitio) y localización del sitio de muestreo (coordenadas UTM, determinadas con GPS o en mapas topográficos); puede añadirse información adicional como nombre de la localidad o paraje. Luego hay que llenar los datos de condiciones de sitio (altitud determinada con GPS o altímetro, pendiente medida con clinómetro, posición topográfica, y exposición con brújula); los datos de clima, geomorfología, suelo y vegetación, deben obtenerse de los mapas respectivos.

Se incluye un cuadro para dibujar un croquis del perfil de la vegetación, que sirve para describir su estructura y estratificación vertical. En el perfil se representan con un dibujo la altura de los estratos (dosel y subdosel arbóreos, vegetación arbustiva y herbácea) y su densidad. Esta es información útil para clasificar las clases de estructura de la vegetación. El perfil puede dibujarse a lo largo de una línea de 25 m, compensado por la pendiente, trazada a través del centro del sitio de muestreo (que tiene un radio de 12.62 m o un diámetro de 25.24 m). Cuando se levantan sitios de dimensiones variables con relascopio, el punto desde donde se hacen las mediciones debe ser el centro de la línea, que servirá también para tomar los datos de cobertura del dosel y material leñoso caído. La cobertura puede determinarse con un densitómetro tomando puntos a cada metro a través de la línea.

Luego se incluye la información sobre las especies arbóreas más comunes en el dosel del bosque y en el subdosel (árboles intermedios o suprimidos), cuando hay un estrato de este tipo. Las especies deben anotarse en orden de su importancia por abundancia y tamaño de los individuos. Se recomienda poner los nombres comunes y los nombres científicos de las especies, y de preferencia colectar ejemplares botánicos para su correcta identificación taxonómica por especialistas. Lo mismo se recomienda para las especies más comunes o abundantes en los estratos herbáceo y arbustivo.

La hoja incluye un espacio para anotar el número de árboles vivos y muertos en pie por categorías de diámetro amplias, que pueden ser estimadas visualmente cuando

la brigada de muestreo ha sido entrenada previamente midiendo diámetros con cinta diamétrica o forcípula. En el caso de sitios de inventario, pueden utilizarse los datos de la medición ya realizada, cuidando de incluir información sobre los árboles pequeños, menores a 5 cm de diámetro (con un límite inferior de 2.5 cm). A partir de esto pueden hacerse gráficos de frecuencias de tallos o individuos arbóreos por categoría de diámetro, que es útil para describir las condiciones de hábitat, así como para hacer inferencias sobre tendencias sucesionales y predecir posibles respuestas de los rodales a las intervenciones silvícolas (ver Oliver y Larson 1990). Debe anotarse también el número de árboles con cavidades que pueden servir de madrigueras. La abundancia de epífitas puede estimarse visualmente, definiendo previamente categorías (por ejemplo: alta >60% de los árboles tienen epífitas, media de 30 a 60%, baja de 10 a 30% y muy baja <10%.

La densidad de material leñoso caído puede estimarse contando las piezas de distintas dimensiones que cruzan la línea de 25 m. Con esta información es posible hacer también estimaciones de biomasa para estudios de almacenes de carbono o evaluación de combustibles forestales (ver Morfín-Ríos *et ál.* 2012 y Vargas-Larreta 2013, donde se describe el método de líneas de interceptación). Luego se incluye la toma de datos de tipo y porcentaje de cobertura de hojarasca sobre el suelo (que puede estimarse visualmente dentro del sitio) y profundidad de la hojarasca, que puede medirse con una regla.

Finalmente, con estos datos puede asignarse el sitio a las clases de estructura y asociaciones florísticas presentes en el área de estudio. También es posible hacer una clasificación más formal utilizando métodos multivariados (McCune & Mefford 1999, Jongman *et ál.* 1995), considerando la composición de especies y las variables que describen la estructura del sitio.

Literatura citada

Adams, J. 2007. *Vegetation-climate interaction*. Springer-Praxis Publishing, Berlin, Alemania.

Aguirre, O., A. Hull, K. Gadow & J. Jiménez. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-bases variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.

Andrewartha, H. G. & Birch, L. C. 1954. *The distribution and abundance of animals*. Chicago University Press, Chicago, EUA.

Bailey, R.G. 1996. *Ecosystem geography*. Springer Verlag. Nueva York, EUA.

Bocco, G., M. Mendoza & A. Velázquez. 2001. Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping, a tool for land use planning in developing countries. *Geomorphology* 39: 211-219.

Bocco, G., A. Priego & H. Cotler. 2005. La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio. Experiencias en México. *Gaceta ecológica* 76: 23-24.

Bormann, F.H. & G.E. Likens. 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem*. Springer Verlag. Nueva York, NY, EUA.

Brown, E., N. Dudley, A. Lindhe, D.R. Muhtaman, C. Stewart, & T. Synnott. 2013. *Guía genérica para la identificación de Altos Valores de Conservación*. Red de Recursos de Avc (HCVRN). [https://www.hcvnetwork.org/resources/cg-identification-sep-2014-spanish].

Burchett, S. & S. Burchett. 2011. *Introduction to wildlife conservation in farming*. Wiley-Blackwell. Hoboken, E.U.A. 313 p.

Cárdenas, H. O.G. 1992. Distribución y abundancia de epífitas en cuatro tipos de vegetación en la Estación Científica Las Joyas, Reserva de la biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. Tesis profesional de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.

Chapin, F.S., P.A. Matson & H.A. Mooney. 2002. *Principles of terrestrial ecosystems ecology*. Springer, Nueva York NY, EUA.

Christensen, N.L., A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Nosss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner & R.G. Woodmansee. 1996. The report of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* 6 (3): 665 – 691.

Cooperrider, A.Y., R.J. Boyd & H.R. Stuart. 1986. *Inventory and monitoring of wildlife hábitat*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management. Denver, EUA.

Corral-Rivas, J., A. Pommerening, K. Gadow & S. Dietrich. 2006. An analysis of two directional índices for characterizing the spatial distribution of forest trees. En: Corral-Rivas (Ed.) *Models of tree growth and spatial structure for multi-species, uneven-aged forests in Durango (México)*. Cuvillier, Göttingen, Alemania. Pp. 119-134.

Cushman, S. A., K. McGarigal. & M. C. Neel. 2008. Parsimony in landscape metrics: strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators* 8:691-703.

Duchaufour, P. 1970. *Précis de pédologie*.Masson, Paris, Francia.

Eastman, J. R. 2012. *Idrisi Selva, Guide to GIS and Image Processing*. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA., EUA.

Fao. 1996. *Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.

Falk D. A., C. Miller, D. McKenzie & A. Black. 2007. Cross-scale analysis of fire regimes. *Ecosystems* 10:809–823.

Fernández-Eguiarte, A., Zavala-Hidalgo, J., & Romero-Centeno, R. (2010). Atlas climático digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Unam. [En línea: http://www. atmosfera. unam. mx/uniatmos/atlas/kml/].

Folke, C., S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson & C.S. Holling. 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 557-581.

Franklin, J. F., D. R. Berg., D. A. Thornburgh & J. C. Tappeiner. 1997. Alternative silvicultural approaches to timber harvesting: variable retention harvest systems. Pp. 111-139. En: K. A.

Kohm, J. F. Franklin. (eds). *Creating a forestry for the 21st Century: The science of ecosystem management*. Island Press. Washington, D.C. E.U.A.

Frelich, L.E. 2002. *Forest dynamics and disturbance regimes*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.

Frumnoff, P.C. 1995. Conserving wildlife in tropical forest managed for timber. *BioScience* 45 (7): 456-464.

Fsc (Forest Stewardship Council). 2004. The Forest Stewardship Council and certification of forest management. [http:// www.fsc.org]

Gardner, T. 2010. *Monitoring forest biodiversity*. Earthscan, Londres, Reino Unido.

Gedalof, Z. 2011. Climate and spatial patterns of wildfire in North America. En: McKenzie, D., C. Miller y D. Falk (Eds.). *The Landscape Ecology of Fire. Springer*. Dordrecht, Paises Bajos. Pp. 89-116.

Gullion, G.W. 1991. Interacciones bosque-fauna silvestre. En: R.A. Young (Ed.) *Introducción a las ciencias forestales*. Limusa, México D.F., México. Pp. 435-466.

González-Bernáldez, F. 1980. *Ecología y paisaje*. Blume. Madrid. Pp. 250.

González-Medrano, F. 2004. *Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. Instituto Nacional de Ecología, México DF.

Harris, L.D. 1984. *The fragmented forest*. Chicago University Press, Chicago, EUA.
Herrera *et ál*. 1992.

Holdridge, L.A. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica.

Hoover, R. L. & D.L. Wills, 1984. Managing Forested Lands for Wildlife Colorado División of Wildlife. Colorado Division of Wildlife in cooperation with USDA Forest Service, Rocky Mountain Region. Denver Colorado.

Huggett, R.J. 1995. *Geoecology, an evolutionary approach*. Routledge, Londres, Reino Unido.

Hunter, M. L. (Ed.). 1999. *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.

Hunter, M. L. & Gibbs, J. P. 2009. *Fundamentals of conservation biology*. Blackwell, Malden, Maine, EUA.

Hunter, M.L. 1996. *Fundamentals of Conservation Biology*. Blackwell, Cambridge, Massachusetts, EUA.

Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.

Ine (Instituto Nacional de Ecología). 2000. *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán*. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D. F.

Inegi. 2005. Guías para la interpretación de cartografía: Uso del suelo y vegetación. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México.

Jardel P., E.J. 1985. Una revisión crítica del Método Mexicano de Ordenación de Bosques, desde el punto de vista de la ecología de poblaciones. *Ciencia Forestal* 10 (58):3-16.

Jardel-Peláez, E.J. 2014 b. *Criterios para la conservación de la biodiversidad en los programas de manejo forestal*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Comisión Nacional Forestal. Guadalajara, Jal., México.

Jardel P., E.J. & Sánchez-Velásquez, L.R. 1989. La Sucesión Forestal: fundamento ecológico de la Silvicultura. Ciencia y Desarrollo 14(84):33-43.

Jardel-Peláez, E.J., E. Ezcurra, R. Cuevas-Guzmán, A.L. Santiago-Pérez & P. Cruz-Cerda. 2004a. Vegetación y patrones del paisaje. En: R. Cuevas-Guzmán y E.J. Jardel-Peláez. (Eds.). *Flora y Vegetación de la Estación Científica Las Joyas*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, pp. 81-135.

Jardel-Peláez, E.J., A.L. Santiago-Pérez, C. Cortéz-Montaño & F. Castillo-Navarro. 2004b. Sucesión y dinámica de rodales. En: R. Cuevas-Guzmán y E.J. Jardel-Peláez. (Eds.). *Flora y Vegetación de la Estación Científica Las Joyas*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, pp. 177-204.

Jardel, E.J., S.H. Graf M., E. Santana C. y M. Gómez G. 2004c. Managing core zones in mountain protected areas in México: The Sierra de Manantlán Biosphere Reserve. En: L. Hamilton, G. Worboys y D. Harmon (Eds.). *Mountain Protected Areas: Linking protected areas among the mountain range*. Andromeda Editrice. Teramo, Italia. Pp. 211-224.

Jardel-Peláez, E.J., M. Maass, A. Castillo, R. García-Barrios, L. Porter, J. Sosa & A. Burgos. 2008. Manejo de ecosistemas e investigación a largo plazo. *Ciencia y Desarrollo* 34(215): 31-37.

Jardel, E.J., E. Alvarado, J.E. Morfín-Ríos, F. Castillo-Navarro & J.G. Flores-Garnica. 2009. Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. En: J.G. Flores-Garnica (Ed.). *Impacto Ambiental de Incendios Forestales*. Mundi-Prensa, Inifap y Colegio de Postgraduados. México D.F. Pp. 73-100.

Jardel-Peláez, E.J. 2013. Estudio para la subzonificación de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Universidad de Guadalajara. Autlán, Jalisco.

Jardel, E.J., R. Cuevas, A.L. Santiago & J.M. Rodríguez. 2014. Ecología y manejo de los bosques mesófilos de montaña. En: Gual, M. y A. Rendón-Correa (Eds.) *El bosque mesófilo de montaña en México*. Conabio. México D.F. 141-188.

Jenny, H. 1941. *Factors of soil formation*. McGraw-Hill, Nueva York, EUA.
Jongman, R.H.G., C.J.G. ter Braak & O.F.R. van Tongeren. 1995. *Data analysis in community and landscape ecology.*Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.

Kattan, G.H. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Guariguata, M.R. & G.H. Kattan (Eds.) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Libro Universitario Regional. Cartago, Costa Rica. Pp. 561-590.

Kohm, K.A. & J. F. Franklin (Eds). 1997. *Creating a forestry for the 21st Century: The science of ecosystem management*. Island Press. Washington, D.C. EUA.

Krebs, C.J. 1978. *Ecology, the experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row, Nueva York, EUA.

Kruckeberg, A.R. 2004. *Geology and plant life*. University of Washington Press, Seattle, EUA.

Kupfer, J.A. 2012. Landscape ecology and biogeography: rethinking landscape metrics in a post-Fragstats landscape. *Progress in Physical Geography* 36 (3): 400-420.

Leopold, A. 1936. *Game management*. Charles Scribner's Sons, Nueva York, EUA.

Lindenmayer, D. B., J. F. Franklin & J. Fischer. 2006. General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological Conservation* 13(1):433-445.

Lindenmeyer, D.B. & J.F. Franklin. 2002. *Conserving forest biodiversity*. Island Press, Wshington DC, E.U.A.

Long, G. 1969. Conceptions générales sur la cartographie biogéographique intégrée de la végétation et de son écologie. *Annales de Géographie* 78 (427): 257-285.

Lugo, A. E., Brown, S. L., Dodson, R., Smith, T. S., & Shugart, H. H. 1999. The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. *Journal of Biogeography* 26 (5): 1025–1038.

Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. University Press. Nueva York, E.U.A. 179 p.

Manson, R.H., E.J. Jardel P., M. Jiménez-Espinoza & C.A. Escalante-Sandoval. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impacto sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En: R. Dirzo, R. González & I.J. March (Compiladores). *Capital Natural de México. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F., México. Pp. 131-184.

Margules, C.R. y S. Sarkar. 2009. *Planeación sistemática de la conservación*. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.

McCune, B. & M.J. Mefford. 1999. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 4.0*. MjM Software Design, Glenden Beach, Oregon, EUA.

McGarigal, K. & B.J. Marks.1995. Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. *General Technical Report PNW-GTR-351,* USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, EUA.

McGarigal, K., S.A. Cushman, M.C. Neel & E. Ene. 2002. Fragstats: Spatial pattern analysis program for categorical maps. University of Massachusetts, Amherst, EUA. [www.umass.edu/landeco/ research/Fragstats/Fragstats.html].

McGarigal, K., S. Tagil & S.A. Cushman. 2009. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology* 24: 433–450.

Mendoza-Briseño, M.A., J. Zepeta y J.J. Fajardo. 2005. Manejo de paisaje, una interpretación práctica. Bois et Forêts des Tropiques 285 (3): 48-54.

Miranda, F. & E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 28: 29-179.

Morfín-Ríos, J.E., E.J. Jardel, J.M. Michel-Fuentes y E. Alvarado. 2012. *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. Comisión Nacional Forestal-Editorial Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. [http://www.ccmss.org.mx/biblioteca/864-caracterizacion-y-cuantificacion-de-combustibles-forestales.html].

Nom-152-Semarnat-2006. Norma oficial mexicana Nom-152-Semarnat-2006, que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. *Diario Oficial* 17 de octubre de 2008, Pp. 1-24. [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3363/1/nom-152-semarnat-2006.pdf]

Naveh, Z. 1995. From biodiversity to ecodiversity: new tolos for holistic landscape conservation. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 21: 1-16.

Oliver, C.D. & B.C. Larson. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw Hill, Nueva York NY, EUA.
Pfister, R.D. & S.F. Arno.1980. Classifying Forest Habitat Types Based on Potential Climax Vegetation. Forest Science 26 (1):52-70.

Pianka. E.R. 1978. *Evolutionary ecology*. Harper & Roww, Nueva York, NY, EUA.

Pielou, E.C. 2001. *The energy of nature*. The University of Chicago Press, Chicago, EUA.
Pojar, J., Klinka, K., & Meidinger, D. V. 1987. Biogeoclimatic ecosystem classification in British Columbia. Forest Ecology and Management 22(1): 119-154.

Priego, A., G. Bocco, M. Mendoza y A. Garrido. 2010. Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes. Serie Planeación Territorial. Semarnat, Ine, CIGA-Unam.

Primack, R., R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo Y F. Massardo. 2001. *Fundamentos de conservación biológica*. Fondo de Cultura Económica México. México D.F.

Puettman, K.J., K.D. Coates & C. Messier. 2009. *A critique of silviculture. Managing for complexity*. Island Press, Washington D.C.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México D.F., México. 432 p.

Santana C., E., E.J. Jardel-Peláez & P. Pons. 2009. Manejo del fuego y conservación de la fauna silvestre en ecosistemas forestales de montaña. En: J.G. Flores-Garnica (Ed.). *Impacto Ambiental de Incendios Forestales*. Mundi-Prensa, INIFAP y Colegio de Postgraduados. México D.F. Pp. 195-222.

Santiago-Pérez, A.L. 2006. Efecto de la fragmentación en la diversidad del bosque mesófilo de montaña, Sierra de Manantlán, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jal., México.

Smith, D.M., B.C. Larson, M.J. Kelty & P.M.S. Ashton. 1997. *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology*. John Wiley, Nueva York, EUA.

Swanson, F.J., T.K. Kratz, N. Caine y R.G. Woodmansee. 1988. Landform effects on ecosystem patterns and processes. BioScience 38:92–98.

Terradas, J. 2001. *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Ed. Omega. Barcelona, España.

Thomas, J. W. (Ed.) 1979. *Wildlife habitats in managed forests the Blue Mountains of Oregon and Washington*. US Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture Handbook Nº 553.

Tricart, J. 1977. *Principes et méthodes de la géomorphologie.* Masson, Paris, Francia.

Vargas-Larreta L., B. 2013. *Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Conafor. Zapopan, Jalisco. 87 p.

Vélica-Zúñiga, G. 2013. Vegetación y patrones geoecológicos en la Sierra de Manantlán. Tesis. Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales. Universidad de Guadalajara-Cucsur. Autlán, Jal., México.

Walker, B. y D. Salt. 2006. *Resilience thinking*. Island Press. Washington DC, EUA.

Walter, H. 1973. *Vegetation of the earth in relation to climate and the eco-physiological conditions*. English Universities Press. Londres, Reino Unido.

Williams, M. 2006. *Deforesting the Earth*. Chicago University Press, Chicago.

Wilson, E.O. 1992. *La diversidad de la vida*. Dracontos-Crítica, Barcelona.

Notas

Notas

Notas

Esta obra contó con el apoyo para la edición e impresión por parte del Proyecto 00071603 "Transformar el manejo de bosques de producción comunitarios, ricos en biodiversidad mediante la creación de capacidades nacionales para el uso de instrumentos basados en el mercado" el cual es ejecutado por la Comisión Nacional Forestal (Conafor), implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Pnud), y co-financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Gef por sus siglas en inglés).

Proyecto

"Transformar el manejo de bosques de producción comunitarios ricos en biodiversidad mediante la creación de capacidades nacionales para el uso de instrumentos basados en el mercado"

www.**conafor**.gob.mx