

Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



CONABIO
COMISIÓN NACIONAL PARA EL
CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD



*Al servicio
de las personas
y las naciones*

Agradecimientos:

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas:

Al personal de Ecoexpansión y Servicios Integrales para el Desarrollo S de R.L., particularmente a la M.C. María Jesús Pérez Hernández por su apoyo en la elaboración del material cartográfico que se muestra en este documento y al desarrollo del análisis de la fragmentación, así como al Ing. David Morán Guzmán por el material proporcionado en materia de producción de planta.

A la Mtra. Mayra Margarita Valdéz Lizárraga de la Subgerencia de Sanidad Forestal de la CONAFOR, quien supervisó la elaboración del presente Manual y en todo momento proporcionó las condiciones para efectuar las presentaciones de avances y la interacción con el personal experto de la CONAFOR.

Al M.C. Rafael Álvarez Reyes, al M.C. Jean Paul Delgado Percástegui, a la Ing. Viridiana Corona Villalpando y al Ing. Omar Diego Pérez Blas de la Gerencia de Restauración Forestal de la CONAFOR, quienes participaron activamente en los talleres de validación de las propuestas generadas en el marco del presente manual y emitieron recomendaciones para mejorarlas.

A la Mtra. Georgia Born-Schmidt y al Mtro. Jordi Parpal Servole del proyecto GEF PNUD, que coordinaron la elaboración del manual y cuyas valiosas aportaciones permitieron concluirlo satisfactoriamente.

Al Lic. Rodrigo Mejía.

Magda Vanegas López

Agosto 2016

Forma recomendada de citar este documento

Vanegas López, M. 2016. Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF **00089333** “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. México. 158 p.

Contenido

Índice de Cuadros	iv
Índice de Figuras	vii
Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias	10
Prólogo	10
1. Introducción.....	12
2. Objetivo general	14
3. Un breve análisis del marco legal de las actividades de restauración forestal en México	15
4. La restauración forestal y su importancia en la conservación de la biodiversidad.....	18
4.1. Conceptos importantes.....	18
4.2. Los recursos forestales como fuente de servicios ecosistémicos.....	22
4.3. Las actividades de restauración forestal en México.....	23
4.3.1. Casos de éxito de restauración forestal en México	33
4.4. La importancia de utilizar especies nativas en la reforestación con fines de restauración	37
5. Restauración forestal bajo un enfoque de cuenca (Restauración Hidrológico-Forestal)..	41
5.1 Cuenca hidrográfica.....	41
5.1.1. La Cuenca Hidrográfica como Sistema	43
5.2. El Manejo Integral de Cuencas	43
5.3 Restauración a nivel de cuencas y análisis de paisaje	44
5.4 Obras de conservación de suelos para la restauración de cuencas	46
6. Buenas prácticas de reforestación con especies nativas	49
6.1. Definición del objetivo de la restauración	49
6.2. Identificación y delimitación de zonas potenciales a restaurar	49
6.3 Criterios para la caracterización del sitio a restaurar	50
6.3.1. Ubicación del predio dentro de la cuenca	52
6.3.2. Análisis de la estructura de la vegetación	53
6.3.2. Índices de diversidad	61

6.3.3. Índices de valor de importancia (IVI)	62
6.3.4. Compactación del suelo	64
6.3.5. Materia orgánica del suelo.....	64
6.3.6. Textura del suelo	67
6.3.7. Profundidad del suelo	70
6.3.8. Análisis de fragmentación del paisaje	72
6.4. Distribución potencial de las especies.....	76
6.5. Definición de áreas a restaurar a nivel predial	101
6.5.1. Índice de Prioridad de Restauración.....	106
7. Selección de especies nativas en la reforestación con el objetivo de impulsar la restauración forestal	117
7.1. Producción de especies nativas en vivero.....	121
7.1.1. Producción de semilla	121
7.1.2. Viveros con producción destinada a actividades de conservación y restauración	127
7.1.2. Costos de producción de planta	131
7.1.3. Técnicas de plantación	133
8. Densidad de Plantación.....	137
9. Propuesta para ubicar los sitios piloto	141
10. Evaluación y Monitoreo de las plantaciones	144
11. Aspectos sociales de la restauración de ecosistemas forestales	145
12. Literatura consultada	149
ANEXO 1. Especies que cuentan con fichas técnicas elaboradas por el Sistema de Información para la Reforestación.	159

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Valor de la sobrevivencia en campo de las plantaciones apoyadas.	25
Cuadro 2. Ajustes a los apoyos de restauración forestal otorgados por la CONAFOR, con el propósito de atender las áreas de oportunidad señaladas en las evaluaciones externas. ...	29
Cuadro 3. Obras y prácticas de conservación de suelo empleadas en la restauración hidrológico-forestal.	47
Cuadro 4. Criterios e indicadores biofísicos, socioeconómicos y culturales que se recomienda considerar para realizar actividades de restauración forestal.	50
Cuadro 5. Clasificación de la concentración de materia orgánica en los suelos	65
Cuadro 6. Estimación del contenido de materia orgánica basado en el color del suelo de la tabla Munsell.	66
Cuadro 7. Contenido de Nitrógeno, Fósforo en mantillos de <i>Fagus grandifolia</i> , <i>Quercus spp</i> y <i>Pinus montezumae</i>	67
Cuadro 8. Clase textural en función del contenido de arena, limo y arcilla.	67
Cuadro 9. Productividad de los suelos en función de la profundidad	70
Cuadro 10. Clasificación de la profundidad del suelo.....	71
Cuadro 11. Parámetros para definir la distribución potencial de especies a utilizar en la restauración forestal.	76
Cuadro 12. Clasificación de los niveles de representación cartográfica del terreno.....	77
Cuadro 13. Caracterización ecológica de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i>	78
Cuadro 14. Distancia de dispersión de polen y semilla para diferentes especies.	93
Cuadro 15. Categorización de las variables utilizadas para <i>Abies religiosa</i>	96
Cuadro 16. Categorización de las variables utilizadas para <i>Pinus pseudostrobus</i>	97
Cuadro 17. Nivel de aptitud en función del número de variables que satisfacen los requerimientos ecológicos de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i>	98
Cuadro 18. Propuesta de formato para la caracterización de los sitios a restaurar.....	102

Cuadro 19. Nivel de afectación del suelo.....	105
Cuadro 20. Valores de referencia para evaluar la estructura vertical de diferentes tipos de vegetación.....	105
Cuadro 21. Grado de fragmentación.....	105
Cuadro 22. Puntuación para calificar la prioridad del predio de ser reforestado en función de su ubicación dentro de la cuenca.....	108
Cuadro 23. Valores de referencia reportados por diversos autores para la estructura vertical de diferentes tipos de vegetación.	108
Cuadro 24. Puntaje sugerido para evaluar la estructura vertical de las áreas sujetas a acciones de conservación	109
Cuadro 25. Ejemplos hipotéticos para ilustrar el uso del Índice de Estructura Vertical.....	110
Cuadro 26. Evaluación del estrato horizontal a nivel predial.....	111
Cuadro 27. Valores del índice de diversidad de Simpson reportados por diversos autores.	112
Cuadro 28. Ponderación del valor del índice de diversidad de Simpson para determinar la prioridad de reforestación a nivel predial.....	112
Cuadro 29. Puntuación asignada al índice de Pieri para su incorporación en el Índice de Prioridad de Restauración.....	113
Cuadro 30. Propuesta para calificar la sanidad del predio donde se efectuarán actividades de reforestación con especies nativas.	113
Cuadro 31. Ponderación propuesta para valorar la susceptibilidad de la reforestación a presiones antropogénicas.....	114
Cuadro 32. Valoración del Índice de Susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación ante actividades antropogénicas.....	115
Cuadro 33. Especies nativas de México utilizadas por la CONAFOR en la restauración de ecosistemas forestales por zona climática.....	118
Cuadro 34. Costos unitarios para la producción en charolas de poliestireno y plástico rígido.	132
Cuadro 35. Costo unitario para la producción en bolsa plástica.	132

Cuadro 36. Costo unitario para la producción a raíz desnuda.	133
Cuadro 37. Valores de la densidad promedio recomendada por la CONAFOR para cada tipo de ecosistema.	138
Cuadro 38. Valor de la densidad de plantación ajustada en función de las condiciones de estructura vertical y horizontal del predio.	140

Índice de Figuras

Figura 1. Regeneración natural en un bosque de clima templado.	27
Figura 2. El manejo de la sanidad en las plantaciones con fines de restauración es una actividad de mantenimiento importante.	28
Figura 3. Sucesión ecológica en un ecosistema terrestre.	37
Figura 4. Tres modelos de los mecanismos que producen la secuencia de las especies en la sucesión.	39
Figura 5. Partes de una cuenca.	42
Figura 6. Cuenca, subcuenca y microcuenca.	42
Figura 7. Paisaje de la selva mediana del estado de Guerrero.	45
Figura 8. Acomodo de material vegetal muerto	47
Figura 9. Barrera de piedras en curvas a nivel	47
Figura 10. Terrazas individuales.	48
Figura 11. Zanjas trincheras	48
Figura 12. Presas de morillos	48
Figura 13. Presas de ramas	48
Figura 14. Presa de piedra acomodada	48
Figura 15. Presa de geocostales.	48
Figura 16. Representación gráfica de un bosque incoetáneo mezclado.	54
Figura 17. Estratificación vertical del componente arbóreo.	55
Figura 18. Clinómetro casero.	55
Figura 19. Relación trigonométrica para determinar la altura de los arboles mediante clinómetro casero.	56
Figura 20. Fotografía panorámica con objeto de dimensiones conocidas.	57
Figura 21. Vista principal del software Sidelook.	58
Figura 22. Ecuación aplicada a la imagen original.	58

Figura 23. Resultado del análisis en Sidelook.	59
Figura 24. Densiómetro cóncavo.....	60
Figura 25. Triángulo de textura.....	68
Figura 26. Barrena helicoidal para medir profundidad del suelo.	71
Figura 27. Ventana principal de la herramienta ID Within Distance Parameters.	74
Figura 28. Ventana principal del software Conefor Sensinode 2.2.....	75
Figura 29. Mapa de altitudes de la RTP Sierra de Chincua.....	79
Figura 30. Grafica de la relación altitud-temperatura.....	80
Figura 31. Datos para homogeneizar la temperatura a cero msnm (Tdet).....	81
Figura 32. Resultado de la interpolación de Tdet mediante el método Kriging.....	82
Figura 33. Mapa de temperaturas de la Sierra de Chincua.....	84
Figura 34. Mapa de precipitación de la RTP Sierra de Chincua.....	86
Figura 35. Mapa edafológico de la RTP Sierra de Chincua (las superficies en blanco corresponden principalmente a usos urbanos).	88
Figura 36. Mapa de unidades climáticas de la RTP Sierra de Chincua.....	90
Figura 37. Uso de suelo y vegetación de la RTP Sierra de Chincua.....	92
Figura 38. Grado de fragmentación de la RTP Sierra de Chincua (en blanco, áreas sin presencia de coníferas donde no se calcula el índice de fragmentación).....	95
Figura 39. Mapa de aptitud para el establecimiento de <i>Abies religiosa</i> en la RTP Sierra de Chincua.....	99
Figura 40. Mapa de aptitud para el establecimiento de <i>Pinus pseudostrobus</i> en la RTP Sierra de Chincua.	100
Figura 41. Daño por <i>Hypsipyla grandella</i> en <i>Cedrela odorata</i>	114
Figura 42. Actividades de ganadería en sitios con reforestación.....	116
Figura 43. Base de datos con información de especies nativas utilizadas en proyectos de restauración forestal de la CONAFOR.	120
Figura 44. Rodal natural de <i>P. durangensis</i> en Chihuahua (UPGF) de la CONAFOR, 2012..	124
Figura 45. Distribución espacial de predios y viveros 2014, y las áreas catalogadas como de restauración de acuerdo con la zonificación forestal.....	129

Figura 46. Alta mortandad por la falta de preparación del suelo.	133
Figura 47. Roturación del suelo previa a la plantación.....	134
Figura 48. Plantación de <i>Opuntia</i> sp en bordos en curvas a nivel.	135
Figura 49. Plantaciones siguiendo las curvas a nivel.	136
Figura 50. Mortandad de la planta en campo por raíz enrollada.	137
Figura 51. Ubicación geográfica de las RTP's seleccionadas para realizar sitios piloto con especies con plantas nativas.	143

Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias

Prólogo

Determinar cuáles son las principales amenazas de la conservación de la biodiversidad en México, valorar la magnitud de sus impactos y diseñar los mecanismos más eficientes para contrarrestarlas son tres de las tareas más importantes para disponer de información que permita la correcta toma de decisiones en la gestión de los recursos naturales. En diversos artículos técnicos y científicos se ha señalado a la destrucción del hábitat y a la introducción de especies exóticas invasoras como los principales factores que amenazan la conservación de la biodiversidad de nuestro país.

En este escenario se inscribe la participación de México como país firmante del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 (PEDB), que le confiere un compromiso en el desarrollo de acciones que promuevan la conservación de la biodiversidad en beneficio de las personas (CONABIO, 2016).

El gobierno mexicano, a través de la Comisión Nacional Forestal ha encabezado los esfuerzos para realizar acciones de recuperación de áreas forestales degradadas a través de la reforestación y la ejecución de obras y prácticas de conservación y restauración de suelos. Para ello, ha apoyado el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal, de bancos de germoplasma, de una red de viveros forestales dotados de infraestructura para producir planta en sistema intensivo, y a través del Programa Nacional Forestal (PRONAFOR) otorga recursos para que los dueños y poseedores de los recursos forestales realicen acciones de restauración forestal en sus predios.

Los viveros que abastecen plantas a la CONAFOR producen más de 100 especies de climas templado, tropical y árido; sin embargo, utilizar las especies en predios ubicados dentro de su distribución natural es una de las principales áreas de oportunidad del programa.

Este manual tiene por objetivo mostrar una serie de herramientas prácticas para que las especies utilizadas en proyectos y programas de reforestación con fines de restauración de ecosistemas degradados se establezcan en sitios ubicados dentro de su área de distribución natural.

El manual está enfocado en la planificación de las actividades de restauración predial a nivel macro (cuenca o subcuenca hidrográfica) y a nivel predial. En el nivel macro se

muestra el procedimiento para determinar la aptitud de las especies con el objetivo de ser reforestadas dentro de la unidad bajo estudio y a nivel predial, se propone la utilización de un índice de prioridad de reforestación. Las herramientas básicas para el nivel macro son diversos insumos cartográficos; mientras que a nivel predial se sugiere coleccionar información sobre la estructura y composición de las áreas a restaurar.

Con el propósito de que esta herramienta constituya un elemento de apoyo para los involucrados en las actividades de restauración forestal del país, como complemento del manual se han generado dos archivos en el programa Microsoft Excel[®]. En el primero, el usuario podrá seleccionar las especies nativas adecuadas para el sitio que pretende restaurar con base en dos restricciones: la entidad y el tipo de vegetación del predio. En el segundo archivo, el usuario podrá capturar la información de campo solicitada para estimar el Índice de Prioridad de Reforestación y automáticamente el sistema realizará el cálculo de dicho índice.

Se espera que las aportaciones de este manual sean de utilidad para los actores involucrados con la restauración forestal.

1. Introducción

En términos de riqueza biológica, México está posicionado en el cuarto lugar del mundo. Este lugar privilegiado otorga al país un papel fundamental en la conservación del capital natural del planeta. Las decisiones que hoy se tomen sobre el uso de los recursos naturales tendrán, sin duda, un impacto en el desarrollo de las generaciones actuales y futuras.

En este escenario se inscribe la participación de México como país firmante del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 (PEDB), que le confiere un compromiso en el desarrollo de acciones que promuevan la conservación de la biodiversidad en beneficio de las personas.

El PEDB está integrado en cinco objetivos estratégicos: a) Abordar las causas subyacentes de la pérdida de diversidad biológica; b) Reducir las presiones directas sobre la diversidad biológica y promover la utilización sostenible; c) Mejorar la situación de la diversidad biológica salvaguardando los ecosistemas, las especies y la diversidad genética; d) Aumentar los beneficios de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas para todos y e) Mejorar la aplicación a través de la planificación participativa, la gestión de los conocimientos y la creación de capacidades.

México cuenta con una Estrategia Nacional de la Biodiversidad (2000), que en este momento está en proceso de actualización, donde se reconoce que las especies exóticas invasoras (EEI) constituyen una amenaza para la conservación del capital natural del país. En esta materia, los esfuerzos se han orientado básicamente a áreas Naturales Protegidas, sin embargo, se ha reconocido la necesidad de incrementar el umbral de estos esfuerzos hacia actividades productivas, pues en ambos casos, las EEI constituyen el principal factor que origina la pérdida de la biodiversidad.

El presente manual tiene como objetivo proporcionar una serie de herramientas metodológicas para efectuar prácticas de reforestación con especies nativas dentro de los programas y proyectos de restauración forestal.

El manual está estructurado en nueve capítulos. El primero lo constituye la presente introducción y en el segundo se presenta el objetivo general. En el tercero se analiza el marco legal mexicano de la restauración forestal, mientras que en el cuarto se exponen diversas propuestas sobre el concepto de restauración ecológica y se reflexiona sobre su importancia para la conservación de la biodiversidad. En el capítulo 5 se analiza el proceso de restauración forestal; se caracterizan algunas herramientas para ejecutarla y se detalla la importancia de entender el proceso de restauración como parte integral del paisaje. En el sexto capítulo se presentan herramientas para seleccionar las especies adecuadas. En el

capítulo 7 se expone la producción de planta de especies nativas en vivero, en el 8 se aborda la necesidad de flexibilizar la densidad de plantación en función de la condiciones del predio y en el 9 se describen diferentes técnicas de plantación. La medición del éxito de las plantaciones permitirá tomar decisiones sobre el área intervenida en el mediano y largo plazo, (tema que se aborda en el capítulo 10 con la evaluación de las plantaciones). En el capítulo 11 se hace un breve análisis de los aspectos sociales de la restauración de ecosistemas forestales y finalmente, en el 12 se muestra un apartado con literatura bibliográfica consultada que puede proporcionar más información sobre el uso de especies nativas en la restauración de ecosistemas forestales degradados.

2. Objetivo general

Este manual tiene por objetivo mostrar una serie de herramientas prácticas para que las especies utilizadas en proyectos y programas de reforestación con fines de restauración de ecosistemas degradados se establezcan en sitios ubicados dentro de su área de distribución natural. Las áreas prioritarias en que se enfatiza son los ecosistemas templados, tropicales y de zonas áridas y semiáridas.

El manual está dirigido a tomadores de decisiones, asesores técnicos, propietarios de áreas forestales degradadas, gestores de recursos naturales, estudiantes y a todo aquel interesado en la conservación de la biodiversidad; como un pequeño esfuerzo para contribuir a la conservación del capital natural de México.

3. Un breve análisis del marco legal de las actividades de restauración forestal en México

En esta sección del documento se presenta una breve semblanza de los artículos que hacen referencia a las actividades de restauración forestal y reforestación en la legislación del país. La revisión incluyó la Ley de Planeación, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS).

De acuerdo con la Ley de Planeación, creada en 1983 y aún vigente, el Ejecutivo Federal es responsable de conducir la planeación nacional del desarrollo¹.

Existen diferentes instrumentos regulatorios que señalan mecanismos y acciones para la gestión de los recursos naturales y el ambiente. La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) promulgada en 1988 establece las disposiciones referentes a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección del ambiente en el territorio nacional. La Ley General de Vida Silvestre rige lo relativo a la toma de decisiones entre los distintos órdenes de gobierno para la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat.

En lo concerniente al sector forestal, el artículo 126 de la LGDFS² establece que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), creada en 2001, son responsables del diseño y aplicación de programas e instrumentos que fomenten la conservación y restauración de los recursos forestales, así como de las cuencas hídricas, tomando en cuenta las condiciones socioeconómicas de sus habitantes.

De acuerdo con lo dispuesto en los artículos 22 (fracciones XVI, XXII y XXV) y 127 de la LGDFS, la CONAFOR es responsable de formular, promover y ejecutar programas productivos, de restauración, de protección, de conservación y de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas forestales y de los suelos en terrenos forestales o preferentemente forestales; de formular y ejecutar programas de restauración ecológica a propósito de propiciar la evolución y continuidad de los procesos naturales cuando se presenten procesos de degradación, desertificación, o desequilibrios ecológicos en terrenos forestales; así mismo, que los propietarios, poseedores, usufructuarios o usuarios

¹ La planeación nacional del desarrollo es la ordenación racional y sistemática de acciones que en materia de regulación y promoción de la actividad económica, social, política, cultural, de protección al ambiente y aprovechamiento racional de los recursos naturales, tengan como finalidad la transformación del país (Presidencia de la República, 1983).

² Última modificación, 7 de junio de 2013.

de terrenos forestales o preferentemente forestales, están obligados a realizar las acciones pertinentes que para tal caso dicte dicha dependencia.

Además, las entidades federativas tienen como atribuciones elaborar e instrumentar programas de reforestación y forestación en zonas degradadas que no sean competencia de la Federación, así como llevar a cabo acciones de protección y mantenimiento de las zonas reforestadas o forestadas (Fracción XIX del Artículo 13) y elaborar estudios para recomendar a la Federación el establecimiento de restricciones a la forestación y reforestación en su territorio (Fracción XXXI).

Por su parte, los municipios deben participar en la planeación y ejecución de la reforestación, forestación, restauración de suelos y conservación de los bienes y servicios ambientales forestales, dentro de su ámbito territorial de competencia (Fracción XII del Artículo 15) y se coordinarán con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, entre otras, para la conservación de los bosques y la promoción de reforestaciones y de plantaciones agro-forestales (Fracción I del Artículo 27).

Dependencias del orden federal como la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad también deberán colaborar con la Secretaría de Medio Ambiente y la Comisión Nacional Forestal, a fin de desarrollar acciones y presupuestos tendientes al manejo integral de las cuencas, así como para promover la reforestación de zonas geográficas con vocación natural que beneficien la recarga de cuencas y acuíferos, en la valoración de los bienes y servicios ambientales de los bosques y selvas en las cuencas hidrológico-forestales y participar en la atención de desastres o emergencias naturales (Artículo 28).

En las áreas destinadas al establecimiento de plantaciones forestales comerciales se debe dar preferencia a la utilización de especies nativas que tecnológicamente y económicamente sean viables (Artículo 86).

La Ley también considera la necesidad de recuperar las áreas forestales bajo aprovechamiento y atribuye a las Unidades de Manejo Forestal la responsabilidad de planear y organizar las tareas de zonificación forestal, reforestación, restauración, prevención y combate de incendios, plagas y enfermedades forestales, así como de compatibilidad de usos agropecuarios con los forestales y de la producción de planta con fines de producción, protección, conservación y/o restauración a nivel predial (Fracciones VI y XI del Artículo 112). Las acciones de reforestación que se lleven a cabo en los terrenos forestales sujetos al aprovechamiento deberán incluirse en el programa de manejo forestal correspondiente (Artículo 131). Esto significa la participación directa de los usufructuarios de los recursos forestales en su aprovechamiento sustentable. De igual forma, se establece

que los interesados en el cambio de uso de suelo paguen una compensación ambiental destinada a actividades de reforestación o restauración y su mantenimiento.

En los casos donde por sanidad forestal sea necesario realizar el aprovechamiento, o en zonas donde ocurrió un incendio, deberá instrumentarse un programa de reforestación, restauración y conservación de suelos; los propietarios, poseedores o usufructuarios están obligados a restaurar mediante la regeneración natural o artificial en un plazo no mayor a dos años (Artículo 125).

En materia de plagas y enfermedades, en el Programa Estratégico Forestal para México 2025 se establecen como objetivos disminuir el riesgo de afectación de los recursos forestales por el efecto de plagas y enfermedades y disponer de la capacidad para atender oportuna y eficazmente los brotes de plagas y enfermedades tanto nativas como exóticas. Una de las líneas de acción prioritarias incluye la elaboración de estudios de análisis de riesgo de plagas exóticas. Esto es de particular importancia en la conservación de los ecosistemas nativos dado que las especies exóticas pueden ser vectores de plagas que afecten a las especies nativas.

Con base en lo anterior, el marco legal del país confiere un estatus de transversalidad a las actividades de reforestación y restauración de áreas degradadas. Sin embargo, en la práctica, las acciones de restauración y reforestación más importantes (debido al alcance nacional de la intervención pública) se han asumido por la Federación, y en algunos casos, por entidades federativas como esfuerzos desarticulados. Lograr que en la práctica se realicen proyectos de restauración forestal de gran escala planificados con un enfoque intersectorial, con la participación de la sociedad civil y la concurrencia de recursos (técnicos y financieros) permitiría fortalecer la gobernanza de los recursos forestales del país.

4. La restauración forestal y su importancia en la conservación de la biodiversidad

En este apartado se reflexiona sobre el concepto de restauración forestal y su relación con otros términos vinculados con la gestión de áreas degradadas. Posteriormente se explica la importancia de utilizar especies nativas en reforestación como un mecanismo para conservar la biodiversidad y de esta manera, preservar los servicios ecosistémicos que proveen las áreas forestales.

4.1. Conceptos importantes

De acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española (RAE), **restaurar** (del lat. restaurāre) es un verbo que expresa la acción de reparar, recuperar, renovar o recobrar. Sin duda, la acepción más común de este verbo hace referencia a recuperar la condición original de alguna creación humana (por ejemplo, la restauración de edificios históricos o de obras de arte).

La restauración de ecosistemas forestales no puede entenderse en el sentido estricto del término; pues los procesos que ocurren en él le confieren un gran dinamismo y los disturbios suelen estar presentes e influir en distintos niveles.

La restauración forestal es la intervención que a través de distintas herramientas logra el restablecimiento de la estructura, la productividad y la diversidad de las especies originalmente presentes en el bosque. Con el tiempo, los procesos ecológicos y las funciones coincidirán con las del bosque original. La ley General de Desarrollo Forestal Sustentable de México expresa que este proceso engloba el conjunto de actividades tendientes a la rehabilitación de un ecosistema forestal degradado, para recuperar parcial o totalmente las funciones originales del mismo y mantener las condiciones que propicien su persistencia y evolución (Artículo 7).

Existen diversas estrategias encaminadas a lograr la restauración de los ecosistemas, entre las más importantes se puede mencionar la rehabilitación, el saneamiento o reclamación, reemplazamiento vegetal y el recubrimiento vegetal o revegetación (Márquez-Huitzil, 2005). A continuación se definen algunos términos de importancia en las actividades de restauración.

Rehabilitación: Acciones orientadas al restablecimiento de la productividad y de algunas otras funciones ecológicas. Se busca la reintroducción de alguna pero no necesariamente todas las especies animales y vegetales originalmente presentes. Por razones ecológicas o económicas, el nuevo bosque puede incluir especies que no estaban originalmente presentes. A través del tiempo, la función de protección del bosque y los servicios ecológicos pueden ser restablecidos.

Saneamiento o reclamación. Su objetivo es recobrar la productividad en un sitio degradado. Para ello, se utilizan principalmente árboles de especies exóticas, frecuentemente establecidos en monocultivos. La diversidad biológica original no se recupera y la mayoría de los servicios ecológicos pueden ser restablecidos (entre ellos la de protección).

Reemplazamiento vegetal: Es el proceso por el que se induce la formación de un ecosistema diferente al original, generalmente no se considera la condición natural histórica del sitio, por lo cual, en estas actividades es muy común el uso de especies exóticas.

Recubrimiento vegetal o revegetación: Esta estrategia puede lograrse únicamente fortaleciendo procesos como la sucesión vegetal, la productividad, la ecología del suelo, la incorporación de nutrientes, entre otros; el objetivo principal es permitir que el sistema regrese por sí sólo a su estado original utilizando especies nativas (Martínez, 1996; citado por Márquez- Huitzil, 2005).

Entendidas de esta manera, la restauración y la rehabilitación de bosques se llevan a cabo en lugares o en territorios en los que la pérdida de la cobertura vegetal ha provocado una disminución de la calidad de los servicios ecosistémicos. Su finalidad es fortalecer la resiliencia de zonas y paisajes forestales y, por lo tanto, mantener abiertas las futuras opciones de ordenación y gestión territorial.

Con base en información del Centro Internacional para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR); la **restauración forestal** es una actividad deliberada (intencional) que interrumpe los procesos responsables de la degradación, elimina las barreras bióticas y abióticas a la recuperación del ecosistema, e inicia o acelera la sucesión ecológica a través del establecimiento de propágulos de las especies de interés del ecosistema de referencia³ (Murcia y Guariguata, 2014). Por lo tanto, es imprescindible reducir las causas de la degradación subyacentes en estos tres elementos a su mínima expresión. Si el factor de perturbación persiste, las posibilidades de recuperar la cubierta forestal son bajas, a pesar de todos los esfuerzos que se realicen. El establecimiento de propágulos se justifica cuando

³ En este sentido, los responsables del proyecto de reforestación deben contar con información sobre el área a restaurar para la correcta toma de decisiones. Este tema se aborda con mayor profundidad en el capítulo 3 del presente manual.

la vegetación del ecosistema donde se encuentra el predio no tiene la calidad genética necesaria para recuperar su composición, los servicios ecosistémicos que proporciona, mucho menos incrementar la capacidad de resiliencia⁴.

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) ha clasificado a las especies de acuerdo a su origen y distribución, de la siguiente forma:

Especie nativa. Especie que se encuentra dentro de su área de distribución natural u original (histórica o actual) de acuerdo con su potencial de dispersión natural. La especie forma parte de las comunidades bióticas naturales del área.

Especie endémica. Especie que se encuentra restringida a una región. El término endémico es relativo y siempre se usa con referencia a la región. Las especies endémicas son frágiles ante las perturbaciones ya que su área entera de distribución puede ser alterada.

Especie exótica. Especie introducida fuera de su área de distribución original. Muchas de las especies de plantas ornamentales y de animales domésticos son especies exóticas provenientes de otros continentes. Las especies exóticas no tienen relaciones evolutivas con las especies con las que se encuentran en su nuevo territorio.

Especie invasora. Especie que por nuevas condiciones creadas en su ambiente aumenta su población y distribución geográfica. Son especies con gran capacidad de dispersión y colonización. Pueden ser especies nativas o exóticas. En general, causan daños al ambiente, a la economía y a la salud humana.

Especie exótica invasora. Especie cuya introducción o diseminación fuera de su distribución natural amenazan la diversidad biológica, ya que pueden ocasionar fuertes problemas transmitiendo enfermedades desconocidas, compitiendo o depredando a las especies nativas.

Además, en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 se han definido algunos conceptos importantes en el contexto de los propósitos de este manual, mismos que se presentan a continuación.

Probablemente extinta en el medio silvestre: Aquella especie nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del Territorio Nacional han desaparecido, hasta donde la

⁴ Esta afirmación toma como base la definición de Dudley y Aldrich (2007; citados por Newton *et al.*, 2011), quienes conceptualizan la restauración forestal del paisaje como: 'Un enfoque con visión de futuro que, más que intentar restaurar los bosques a su estado original, intenta fortalecer la resiliencia de los paisajes forestales y mantener abiertas diferentes opciones futuras con el objetivo de beneficiarse de los bosques y sus productos.

documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del Territorio Mexicano.

En peligro de extinción: Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros.

Especies Amenazadas: Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

Especies Sujetas a protección especial: Aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas.

Especie asociada: Aquella que comparte el hábitat natural y forma parte de la comunidad biológica de una especie en particular.

Especie clave: Aquella cuya presencia determina significativa y desproporcionadamente respecto a su abundancia, la diversidad biológica, la estructura o el funcionamiento de una comunidad.

Especie principalmente extralimital: Aquella especie cuya distribución natural actual se presenta en su mayor parte fuera de los límites nacionales, por lo que su presencia en el Territorio Nacional es marginal, esto es, menor al 5%.

Especies y poblaciones en riesgo: Aquellas identificadas por la Secretaría como probablemente extintas en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazadas o sujetas a protección especial.

Hábitat: El sitio específico en un medio ambiente físico, ocupado por un organismo, por una población, por una especie o por comunidades de especies en un tiempo determinado.

Manejo: Aplicación de métodos y técnicas para la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat.

Reintroducción: La liberación planificada al hábitat natural de ejemplares de la misma subespecie silvestre o, si no se hubiera determinado la existencia de subespecies, de la misma especie silvestre, que se realiza con el objeto de restituir una población desaparecida.

4.2. Los recursos forestales como fuente de servicios ecosistémicos

Grandes extensiones de áreas forestales en México (y en el mundo) sufren amenazas constantes de actividades productivas que transforman su estructura y funcionamiento, situaciones que ponen en riesgo la provisión de servicios ecosistémicos.

Los servicios ecosistémicos son los múltiples beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad. La calidad de estos servicios está intrínsecamente relacionada con la diversidad existente en los ecosistemas.

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio⁵ hace una tipificación de los servicios ecosistémicos en servicios de soporte, servicios de regulación, servicios de provisión y servicios culturales. De acuerdo con Fisher *et al.* (2008) esta tipología es útil como una herramienta heurística, pero puede ocasionar confusión cuando se trata de realizar la valoración económica de los servicios ecosistémicos. Por ello, dichos autores propusieron en 2008 una clasificación de los servicios ecosistémicos en cuatro niveles:

- a) entradas abióticas (como la luz solar, la lluvia o nutrientes),
- b) servicios intermedios (por ejemplo, la formación del suelo, la producción primaria, el ciclo de nutrientes, la fotosíntesis, la polinización, etc.,
- c) servicios finales (la regulación del ciclo del agua y la productividad primaria) y
- d) beneficios, como el agua para la irrigación, para el consumo, la electricidad (generada por el viento, el agua), alimentos, servicios culturales, recreativos, productos maderables y no maderables (Ojea *et al.*, 2012).

La clasificación de Fisher muestra la importancia de los servicios ecosistémicos —y de los bosques— en el desarrollo presente y futuro de las poblaciones. A pesar de que éstos se generen en las áreas naturales, tanto las comunidades rurales como las urbanas nos beneficiamos de su existencia. La FAO⁶ reporta que la valoración de estos servicios asciende a 125 billones de dólares, sin embargo, no reciben la atención adecuada en las

⁵ Programa científico de las Naciones Unidas, cuyo objetivo fue reunir información sobre el estado de los ecosistemas del planeta y sus servicios

⁶ <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

políticas y las normativas económicas y ambientales, ya que la pérdida y degradación de los bosques ha ido en aumento.

Las tasas de deforestación reportadas para México son variables, debido a los diferentes métodos, objetivos e insumos utilizados para su estimación. En el periodo 2005-2010 el INEGI reportó la pérdida de 155 000 hectáreas por año, mientras que el Inventario Nacional Forestal para el mismo periodo reportó cifras de hasta 326 000 hectáreas por año (INEGI, 2013; CONAFOR, 2014a). De acuerdo con Merino y Segura (2007), las cifras que se han considerado más confiables (cuya metodología de cálculo las hace comparables con las realizadas para otros países del mundo) son las reportadas por la FAO, que para 1995 estimó una pérdida anual para México de 678 mil ha, y de 235 000 ha anuales para el periodo 2000-2005. En 2015, la FAO determinó una tasa de 440 000.6 ha anuales para el periodo 1990-2010.

Las cifras de deforestación evidencian la magnitud del problema público en que ésta se ha convertido, sobre todo porque la deforestación lleva intrínseca la pérdida de biodiversidad. A este respecto, Sarukhan *et al.* (2009) enfatizaron: “el patrimonio biológico de México manifiesta síntomas de un impacto antropogénico profundo que ha generado una crisis ambiental, por lo que es apremiante hacer cambios en las formas de crecimiento económico y el fomento de actividades productivas que han traído como consecuencia el uso irracional y la sobreexplotación de la biodiversidad, y un severo deterioro de los ecosistemas y sus bienes y servicios ambientales, de los cuales depende inequívocamente el país para su continuo desarrollo y el bienestar de la población”.

Es por ello que las actividades de reforestación impulsadas por el Estado Mexicano desde hace más de 20 años —y de restauración en la década pasada— han sido parte de la agenda de gobierno. A continuación se hace una breve semblanza de las actividades de restauración forestal efectuadas en México con el fin de recuperar superficie forestal.

4.3. Las actividades de restauración forestal en México

De acuerdo con Cervantes *et al.* (2008), el establecimiento de políticas públicas y normatividad para cuidar los recursos naturales del país, siempre ha considerado de manera genérica la restauración y la necesidad de corresponder esta actividad con el beneficio para las sociedades humanas. Cedeño y Pérez (2005) realizaron un análisis sobre la legislación forestal y su efecto en la restauración en México. De acuerdo con estos autores, el término restauración se encuentra desde las primeras leyes forestales, pero con un significado muy distinto al que se le ha dado en los últimos 20 años. De acuerdo con

estos autores, en las leyes forestales de México, el concepto restauración tenía un enfoque poblacional de los sitios que de manera natural (erosión) o artificial (aprovechamiento) hubieran perdido su vegetación; tampoco se privilegió el uso de las especies arbóreas nativas de cada región e incluso se promovió el uso de especies exóticas.

La inclusión de la temática ambiental en la legislación de nuestro país se inició en 1971, con la “Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental”. Desde entonces, hasta la actual Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, se ha recorrido un largo camino, donde las áreas de oportunidad más importantes han sido superar la desvinculación de acciones y programas en materia ambiental, la duplicidad de funciones o programas y la excesiva regulación para alcanzar un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Particularmente, el sector forestal se encuentra en un momento crucial: las prácticas de extracción ilimitada realizadas durante décadas derivaron en la degradación de enormes extensiones, la mayor parte de los bosques y selvas son de propiedad social y en ellos habitan personas con altos grados de marginación. En contrapeso, existe también una creciente necesidad por contar con los servicios ambientales brindados por los bosques, entre otros, la protección contra la erosión, la conservación de los servicios hidrológicos y de la biodiversidad. Así, las actividades de restauración, protección y conservación de los bosques se convierten en ejes fundamentales de la actividad forestal del país (Vanegas, 2013).

En el periodo 2007-2012, ProÁrbol fue el principal programa federal de apoyo al sector forestal; agrupó los apoyos dirigidos a los poseedores y propietarios de terrenos forestales del país. Uno de sus objetivos fue el impulso a la conservación, protección y restauración de los recursos forestales de la nación, objetivo coherente con el planteado en el Programa Estratégico Forestal para México 2025 (PEF), diseñado para impulsar y fortalecer el desarrollo sustentable de los recursos naturales en los ecosistemas forestales mediante acciones de conservación, protección, restauración, fomento y producción para el bienestar de la sociedad (...). En la misma dirección, en la estrategia 3.1 del eje rector Sustentabilidad incluida en el documento del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 se señala que “Con el fin de recuperar la cobertura forestal del país, se incrementarán los apoyos destinados a las acciones de reforestación, incluyendo su protección y mantenimiento, así como para obras de conservación y restauración de suelos, diagnóstico y tratamiento fitosanitario. Estas acciones se realizarán con la participación directa de los dueños de los terrenos con aptitud forestal para mejorar la efectividad de los programas, a la vez que se generan empleos en las zonas rurales”. Dicho documento se refirió al programa ProÁrbol como uno de los instrumentos de política pública más significativos para lograr el cumplimiento de esta estrategia.

Los ajustes que se han realizado a la intervención pública dirigida a la restauración de ecosistemas forestales en México son incrementales. En 2013 las acciones de restauración forestal y reconversión productiva en predios forestales degradados, se integraron como parte de la estrategia de intervención pública denominada Programa Nacional Forestal (PRONAFOR). Estos apoyos tienen como objetivo impulsar acciones y proyectos integrales con el propósito de recuperar la capacidad y el potencial natural de los suelos forestales y de la cobertura forestal bajo condiciones de deterioro y recuperar gradualmente la capacidad de provisión de bienes y servicios ambientales.

Año con año, una instancia externa a la CONAFOR realiza una evaluación de los resultados de las acciones de restauración, habitualmente del ejercicio fiscal anterior. En el Cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos en las plantaciones evaluadas en el periodo 2004-2014. Como se puede observar, el promedio nacional fue de 33.60 % en 2012 hasta 56.62 % en 2014. En comparación con algunos datos reportados en la literatura estos resultados podrían considerarse no suficientes. Por ejemplo, en Estados Unidos, Warnick y Zaniewski (2008) reportaron sobrevivencias superiores a 70 %, en sitios destinados a actividades de restauración forestal, donde se efectuaron prácticas de mantenimiento como acolchado con mulch y riego, y paradójicamente, una de las principales áreas de oportunidad en la mayor parte de los sitios evaluados fue combatir la presencia de especies invasoras. Estas diferencias en el manejo posterior de las plantaciones probablemente sean la causa de las divergencias en los niveles de sobrevivencia reportados, aunque se sabe que la supervivencia de muchas especies de plantas está asociada con las variables ambientales del micrositio, entre las cuales destacan temperatura, luz, humedad y nutrientes (Price *et al.*, 2001; citados por Gómez-Romero *et al.* 2012). Es preciso hacer hincapié en el hecho de que en la mayoría de los predios donde la CONAFOR otorga recursos públicos para realizar acciones de restauración forestal las condiciones son diferentes a las encontradas en otros países (suelos con mayor degradación, imposibilidad de brindar riego, factores de riesgo); aun así es posible introducir una serie de mejores prácticas para elevar las tasas de sobrevivencia y contribuir a recuperar la superficie forestal del país; entre éstas se encuentran establecer la (s) especie (s) dentro de su rango de distribución natural.

Cuadro 1. Valor de la sobrevivencia en campo de las plantaciones apoyadas.

Entidad	Sobrevivencia en campo (%)							
	2004	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2014
Aguascalientes	40	42.19	37.75	63.13	28.08	32.41	23.61	53.05
Baja California	30.3	0	0	12.49	0	4.85	13.45	21.01
Baja California Sur	43.7	1.59	29.5	43.23	20.31	8.19	11.76	62.32
Campeche	39.9	28.94	31.03	23.31	66.61	51.11	6.15	24.41
Chiapas	44	40.95	20.58	15.48	26.06	38.14	33.20	56.14
Chihuahua	69.4	48.5	58.51	43.17	2.30	0.10	31.21	55.88

Entidad	Sobrevivencia en campo (%)							
	2004	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2014
Coahuila	86.9	67.98	64.61	56.50	57.90	40.36	66.88	53.56
Colima	49.8	59.01	35.78	58.46	56.22	0.80	30.14	44.22
Ciudad de México	75.2	No se evaluó	62.93	91.79	65.17	50.17	31.56	6.45
Durango	66.5	49.06	65.53	48.16	23.87	17.10	33.03	70.33
Guanajuato	48	61.98	64.44	62.06	38.12	38.72	28.91	50.35
Guerrero	49.8	52.67	32.52	35.55	64.12	42.59	15.76	60.29
Hidalgo	34.9	51.72	75.2	67.42	39.68	17.05	25.05	65.21
Jalisco	59.5	57.27	39.27	54.16	46.29	4.10	19.83	51.38
México	62.9	49.55	55.63	49.53	41.97	52.26	41.45	32.59
Michoacán	39.3	38.53	42.06	82.74	56.23	66.80	38.65	67.33
Morelos	60.1	49.67	56.77	35.32	77.50	12.85	15.47	90.28
Nayarit	35.9	33.05	48.03	46.71	58.56	22.93	21.83	75.31
Nuevo León	42.8	57.03	72.15	69.52	45.51	47.54	50.21	51.29
Oaxaca	71.6	43.48	66.28	60.85	61.19	42.00	29.81	67.97
Puebla	63.3	56.73	62.71	72.62	42.07	42.83	18.72	59.24
Querétaro	45.3	42.08	54.46	64.77	42.63	45.36	39.21	30.90
Quintana Roo	39.4	17.79	37.14	70.27	40.32	48.18	38.45	61.27
San Luis Potosí	66.1	65.15	70.71	74.70	58.03	77.20	59.01	52.74
Sinaloa	55.4	62.2	40.82	19.46	31.97	20.59	11.35	34.02
Sonora	40.2	27.31	59.22	31.65	11.54	20.22	23.09	36.00
Tabasco	55.9	13.59	13.67	43.52	37.47	53.01	35.79	68.25
Tamaulipas	40.4	47.32	90.55	45.05	47.65	58.25	11.99	69.91
Tlaxcala	43.8	50.61	52.71	59.83	7.66	61.84	57.29	76.66
Veracruz	85.9	56.71	47.35	69.80	65.39	61.32	46.49	51.41
Yucatán	25	27.41	13.73	35.71	38.97	43.50	9.93	20.71
Zacatecas	74.1	18.56	52.4	78.95	48.28	51.96	45.00	63.14
Nacional	52.67	51.52	48.56	53.35	46.15	40.28	33.60	56.62

Fuente: Elaboración propia, con base en las evaluaciones externas de 2004, 2006, 2008, 2009, 2010 y 2011 y los ejercicios de Monitoreo de Restauración Forestal y Reconversión Productiva, 2012 y 2014. Los ejercicios fiscales 2005 y 2007 no se evaluaron a nivel estatal.

El valor de sobrevivencia ha sido variable en los distintos ejercicios considerados; por ejemplo, aunque la sobrevivencia de las plantaciones de Morelos en 2014 alcanzó un 90 %, en el año inmediato anterior fue de apenas 15.47 %; un caso similar ocurrió con Nayarit y Durango, donde los altos índices reportados en 2014 no han sido constantes. Desafortunadamente, no existe un diagnóstico sobre las causas de estas variaciones en el mediano o el largo plazo.

La medición sólo da cuenta de la condición de las plantas otorgadas por la CONAFOR (enfoque poblacional), pero no considera el posible efecto de la intervención sobre la recuperación de las áreas degradadas, ni sobre los factores que inciden en los buenos o malos resultados. Esto coincide con lo señalado por Dinh *et al.* (2012); quienes señalaron que en general, la mayoría de las evaluaciones de las reforestaciones en el mundo se

enfocan en los indicadores de éxito sin profundizar en los factores que pueden influir en los resultados (e incluyen factores biofísicos, socioeconómicos, características socioinstitucionales y de proyectos).

Por ejemplo, ante la remoción del suelo para realizar las actividades de plantación, el banco de semillas se activa para iniciar el proceso de sucesión.



Figura 1. Regeneración natural en un bosque de clima templado.

Fotografía: Manuel Aguilera Rodríguez.

En la Figura 1 se aprecia la capacidad del bosque para regenerarse después de un disturbio (incendio forestal). En este caso, el banco de semillas⁷ se activa produciendo una gran cantidad de plántulas.

En estas condiciones, el bosque tiene la capacidad de regenerarse, pero es necesario dar un manejo adecuado para evitar que posibles disturbios tengan un efecto negativo sobre la regeneración. La apertura de brechas cortafuego y algunas obras de conservación de suelos

⁷ El banco de semillas está conformado por las semillas que permanecen latentes en el suelo, por lo cual es un reservorio de especies, principalmente pioneras, que están listas a germinar en el momento en que se presente una perturbación, se forme un claro o las condiciones ambientales cambian para iniciar de este modo un proceso de sucesión secundaria (Garwood, 1989).

constituyen dos actividades importantes en el manejo de este tipo de áreas. Con el manejo adecuado, los predios en estas condiciones no requerirán de una reforestación.

Las actividades de reforestación impulsadas por la CONAFOR han experimentado cambios incrementales en el tiempo. A partir de 2014, el programa otorga recursos para mantenimiento y obras de conservación de suelos en un esquema trianual. Este esquema, desde luego, representó un reto desde el punto de vista administrativo y operativo, pero sin duda tiene ventajas para dar continuidad al proceso de restauración en los predios.



Figura 2. El manejo de la sanidad en las plantaciones con fines de restauración es una actividad de mantenimiento importante.

Fotografía: Manuel Aguilera Rodríguez.

En la Figura 2 se aprecian daños a las plantas reforestadas por la presencia de plagas y enfermedades. Este ejemplo da cuenta de cómo la labor de quien establece una plantación con fines de restauración no culmina con el establecimiento de las plantas: es necesario realizar acciones de mantenimiento, entre las cuales se encuentran el manejo de las arvenses y las prácticas de sanidad.

Como resultado del proceso de evaluación externa en 2012 se realizó una serie de recomendaciones que, desde el juicio de la institución responsable del estudio, en ese momento fueron prioritarias para mejorar el éxito de los apoyos otorgados. En el Cuadro 2 se presentan las mejoras recomendadas en 2012, sus antecedentes en las evaluaciones de los ejercicios fiscales y los cambios ocurridos en los ejercicios fiscales 2013-2015.

Cuadro 2. Ajustes a los apoyos de restauración forestal otorgados por la CONAFOR, con el propósito de atender las áreas de oportunidad señaladas en las evaluaciones externas.

Recomendaciones en ejercicios fiscales anteriores	Recomendación en 2012	Relevancia (desde el juicio de la entidad externa 2012)	Cambios realizados en los apoyos de restauración forestal y reconversión productiva en los ejercicios fiscales 2013-2015
<p>En 2007 se recomendó crear un Comité Inter Secretarial de Proyectos RN (Recursos Naturales) que respalden la creación de fideicomisos para diferentes proyectos.</p> <p>Se ha propuesto analizar la posibilidad de establecer un horizonte de ejecución igual o mayor a dos años, y que en el primero se realicen actividades de programación (2009).</p>	<p>1. Hacer más atractivo al componente de reforestación con otros apoyos que les permitan a los productores obtener beneficios económicos en un plazo más corto, por ejemplo, con agroforestería, plantaciones comerciales o ecoturismo.</p>	<p>No hacer atractivo en términos económicos los apoyos de CONAFOR ha hecho que muchos propietarios no presten atención a la supervivencia de las reforestaciones y la calidad de las obras de conservación de suelos porque no ven beneficios en el corto y mediano plazo.</p>	<p>Uno de los componentes de restauración forestal y reconversión productiva del Programa Nacional Forestal fue la modalidad Sistemas Agroforestales.</p>
<p>Realizar las acciones de reforestación y conservación bajo el enfoque de planeación rural participativa (2010).</p>	<p>Diferenciar apoyos por tipo de productores, determinando si son productores forestales o transicionales que están recuperando áreas para transformarlas de uso agrícola o pecuario a forestal.</p>	<p>No puede haber soluciones únicas en un país tan diverso en términos ecológicos, sociales y económicos.</p> <p>Las necesidades de los productores eminentemente forestales deben centrarse en el mejoramiento del valor producido para que puedan vivir de la actividad forestal. En cambio los transicionales deben enfocarse a recuperar y conservar áreas forestales limitando la posibilidad de cambio de uso del suelo y protegiendo las reforestaciones y</p>	

Recomendaciones en ejercicios fiscales anteriores	Recomendación en 2012	Relevancia (desde el juicio de la entidad externa 2012)	Cambios realizados en los apoyos de restauración forestal y reconversión productiva en los ejercicios fiscales 2013-2015
		la erosión del suelo.	
Se ha recomendado revisar los convenios y contratos para la producción de planta y el proceso de distribución, considerando el control de calidad y la oportunidad en su distribución (2010).	Reforzar los apoyos a la producción de planta en viveros con la apertura de más viveros cerca de las zonas de apoyo del programa involucrando principalmente a ejidos para hacerse cargo de ellos. Y fomentado que se ofrezcan un mayor número de especies; que tengan diversos usos no únicamente maderables; que tengan características de crecimiento diferentes. También que la planeación y programación de producción de planta se haga en el ciclo previo para tener más certeza de la producción de la cantidad suficiente de planta y con la calidad necesaria.	Se ha mejorado la operación de los viveros pero, aun así, muchos productores se quejan de la calidad de la planta, de la lejanía de los viveros y de la disponibilidad de especies adecuadas para su beneficio.	En el ejercicio fiscal 2014 se encontró que en la producción concertada mediante convenios de colaboración y concertación suscritos con la CONAFOR participaron 219 instancias (públicas, sociales y privadas), con 258 viveros, una producción de 140,433,001 plantas de 109 especies forestales. No se incluyó la planta producida en los viveros de SEDENA y de la propia CONAFOR. Dos terceras partes de las especies producidas fueron del género <i>Pinus</i> .
<p>Programar las actividades de producción de planta en el ejercicio anterior (2009).</p> <p>Controlar la procedencia de germoplasma, y que ayuda a elevar la cuota de supervivencia de las plantas (2010).</p>	Continuar mejorando la oportunidad del programa en la entrega de los recursos financieros y las plantas para reforestar; garantizar que las plantas sean entregadas a los productores al inicio de la temporada de lluvias; que		Aunque se han realizado algunos ajustes en el proceso-recepción de la planta, éste continúa siendo uno de los puntos cruciales para mejorar los resultados obtenidos en la

Recomendaciones en ejercicios fiscales anteriores	Recomendación en 2012	Relevancia (desde el juicio de la entidad externa 2012)	Cambios realizados en los apoyos de restauración forestal y reconversión productiva en los ejercicios fiscales 2013-2015
<p>Realizar la identificación de lugares potenciales para el establecimiento de nuevos viveros, de manera que se reduzcan los tiempos de traslado al sitio de plantación (2010).</p> <p>Proporcionar los recursos humanos, financieros y técnicos oportunamente, con el objetivo de que el periodo de permanencia de las plantas en el vivero sea el óptimo para cada especie (2011).</p>	<p>los recursos para las obras se entreguen con anticipación al ciclo de lluvias. Existen regiones del país donde ya se ha superado el problema pero otras reportan serios problemas para recibir los apoyos.</p>		<p>recuperación de áreas degradadas.</p>
<p>Que los beneficiarios y asesores técnicos conozcan las fechas óptimas de plantación y realicen las actividades de preparación del suelo, adquisición y transporte de plantas, además del establecimiento en dicho periodo (2010).</p>	<p>Continuar mejorando la oportunidad del programa en la entrega de los recursos financieros y las plantas para reforestar; garantizar que las plantas sean entregadas a los productores al inicio de la temporada de lluvias; que los recursos para las obras se entreguen con anticipación al ciclo de lluvias. Existen regiones del país donde ya se ha superado el problema pero otras reportan serios problemas para recibir los apoyos.</p>	<p>Se ha avanzado en la oportunidad de la entrega de los recursos, pero aún falta mucho para ser deseable. Ésta ha sido la demanda más recurrente de los beneficiarios desde el inicio del programa.</p>	<p>La CONAFOR publicó un calendario del periodo óptimo de plantación por ecosistema y entidad.</p>
<p>En la evaluación complementaria de 2009 se propone el establecimiento de medidas para mejorar el desempeño y capacitación de los Asesores Técnicos Forestales.</p>	<p>Continuar con la mejora de los servicios de los Asesores Técnicos Forestales mediante una capacitación de los productores con mayor continuidad, un</p>	<p>La necesidad de apoyo técnico ha sido manifestada constantemente por los productores, especialmente para</p>	<p>El esquema en el que se maneja la asistencia técnica en los apoyos de restauración forestal y reconversión</p>

Recomendaciones en ejercicios fiscales anteriores	Recomendación en 2012	Relevancia (desde el juicio de la entidad externa 2012)	Cambios realizados en los apoyos de restauración forestal y reconversión productiva en los ejercicios fiscales 2013-2015
<p>Implementar controles, como la entrega de productos como evidencia de los trabajos desempeñados por los Asesores Técnicos Forestales (2009).</p> <p>Se recomienda estudiar la posibilidad de que organismos externos distribuidos por área geográfica, supervisen las actividades de los Asesores Técnicos Forestales, para tener un mejor control de los proyectos (2009).</p> <p>Medidas para mejorar el desempeño de los Asesores Técnicos Forestales: Bajo la consideración de que son quienes capacitan, asesoran y concientizan a los beneficiarios antes y durante el proceso constructivo, es necesario brindarles capacitación constante para que las recomendaciones que emitan sean las más adecuadas en función del tipo de obra, de las condiciones ambientales del predio y de la problemática por atender (2009).</p>	<p>seguimiento más adecuado del trabajo de los asesores técnicos y asegurarles márgenes razonables de ingresos en correspondencia a su trabajo.</p>	<p>las actividades de restauración o para apoyarles en proyectos que aprovechen el potencial productivo de sus áreas forestales.</p>	<p>productiva tiene limitaciones dado que ésta sólo existe mientras se realiza la gestión de los apoyos y cuando se realizan algunas actividades primordiales. Sin embargo, los técnicos no realizan actividades de seguimiento y en muchos de los casos, no dan recomendaciones a los beneficiarios sobre cómo mejorar los resultados de las acciones ejecutadas. En un escenario ideal, sería conveniente que los beneficiarios contaran con asistencia técnica permanente. Dado que los recursos públicos son insuficientes, sería conveniente considerar algún esquema de formación de líderes comunitarios en temas vinculados con la restauración forestal.</p>

Fuente: Adaptado de UACH y CONAFOR (2013, 2015).

Tal como se desprende del Cuadro 2, los principales retos de las actividades de restauración forestal que la CONAFOR enfrenta, se podrían resumir en los siguientes puntos:

1. Que los viveros cuenten con los insumos necesarios (semilla, sustratos, fertilizantes, tecnología apropiadas) para garantizar que la planta producida es de calidad.
2. Contar con Unidades Productoras de Germoplasma Forestal para las especies útiles en las actividades de restauración forestal, y que la cantidad de especies sea acorde a la biodiversidad de las áreas forestales del país.
3. Manejar los relictos de la vegetación nativa y la vegetación secundaria a favor de los procesos de restauración.
4. Que los dueños de las áreas forestales cuenten con la capacitación adecuada y suficiente, para que tomen las decisiones más acertadas en el manejo de sus áreas forestales.
5. Que las acciones de restauración forestal perduren en el tiempo y contribuyan a la recuperación de áreas forestales degradadas en el país.
6. Influir en la conciencia ambiental de la ciudadanía, para que la sociedad en general valore la importancia de las actividades de restauración forestal en el país.

Un reto adicional —el eje medular de este trabajo de investigación —es que las especies utilizadas en las plantaciones con fines de restauración sean nativas y se utilicen dentro de su área de distribución natural, para evitar la posibilidad de que las plantas se comporten como especies invasoras y afecten la composición de los ecosistemas y los servicios ambientales derivados que éstos prestan.

4.3.1. Casos de éxito de restauración forestal en México

Si bien es cierto que en materia de restauración forestal no se han alcanzado todos los objetivos planteados por las diferentes instituciones, es importante destacar aquellos casos exitosos, en donde la participación de las organizaciones sociales ha sido vital. Ejemplo de ello son el ejido Noh-Bec, en Quintana Roo, la comunidad indígena de San Juan Nuevo en Michoacán, el parque ejidal San Nicolás Totolapan en la Ciudad de México, la Ventanilla en Santa María Tonameca Oaxaca y la comunidad de Ixtlán de Juárez en Oaxaca.

Ejido Noh-Bec

Se fundó en 1936, con 216 socios y una superficie de 24,122 hectáreas de selva mediana subperennifolia. De 1954 a 1982 los bosques del ejido Noh-Bec fueron administrados por la

dirección técnica forestal de la unidad industrial de explotación forestal MIQRO. Al terminarse la concesión en la década de los 80's, el ejido tuvo la oportunidad de administrar por cuenta propia sus bosques, para lo cual declaró 18,000 hectáreas de selva como área forestal permanente con fines de producción forestal⁸.

A partir de 1991 a Noh-Bec se le expidió por primera vez el sello verde por su buen manejo forestal. Hoy en día el ejido comercializa madera certificada por el Forest Stewardship Council (FSC) y cuenta con caminos e infraestructura suficiente para la transformación de la madera. Dentro de los objetivos del ejido se encuentran el desarrollo y conservación de la selva, impulsar el capital social y humano, y mantener el nivel de ingreso de los socios (Ríos-Cortez *et al.*, 2012). Como parte de estos objetivos, el ejido declaró una zona de reserva forestal de 716 hectáreas; y año con año realizan reforestación de cientos de hectáreas de selva con especies como *Swietenia macrophylla*, *Metopium brownei* y *Manilkara zapota*.

La Ventanilla

La Ventanilla se ubica en el municipio de Santa María Tonameca, Oaxaca, fue fundada en los años setenta con solo cerca de 20 familias. Eventos meteorológicos extremos (sequías y huracanes) propiciaron que los habitantes de esta comunidad buscaran actividades alternas a la agricultura para generar ingresos económicos. Fue así como empezaron a cuidar sus recursos naturales y comenzaron a brindar servicios de ecoturismo. Se organizaron en una cooperativa para conseguir apoyo de diversas instituciones. La percepción de ingresos económicos por esta actividad incrementó el interés por proteger los humedales, se dejaron de consumir especies que tradicionalmente eran cazadas como la iguana, la tortuga marina, el venado o que usaban como el mangle⁹. Desde sus inicios hasta la fecha, se ha logrado la recuperación del humedal, el incremento de la superficie de mangle y de especies como el cocodrilo. Actualmente la Ventanilla forma parte de la Red de los Humedales de la Costa de Oaxaca. Todas estas acciones han contribuido a disminuir la migración ya que han incrementado y diversificado las fuentes de empleo (Carabias *et al.*, 2010).

Parque Ejidal San Nicolás Totolapan

El Parque Ejidal San Nicolás Totolapan se encuentra en la delegación Magdalena Contreras y cuenta con una superficie de 1,700 hectáreas de bosque templado. El ejido tiene una

⁸

<http://sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/Presentacin%20de%20Experiencias%20Exitosas%20por%20Entidad%20F/Attachments/23/nohobe-qroo.pdf>

⁹ <http://etzna.uacam.mx/epomex/pdf/mancos/cap33.pdf>

superficie de más de 2,300 hectáreas, propiedad de 336 ejidatarios; forma parte del suelo de conservación de la Ciudad de México.

Antes de convertirse en parque, en estas tierras se realizaba aprovechamiento forestal. A partir de la veda forestal muchas familias se vieron forzadas a vender sus tierras y buscar otros medios de sustento. Ante esta situación decidieron crear una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA). Con el paso del tiempo y gracias al apoyo de diversas instituciones hoy ofrecen diversas actividades recreativas como la pesca en estanques artificiales, cabalgatas por el bosque, visitas al Centro de Educación Ambiental “Los Brinzales”, así como a una granja agrodidáctica.

Una vez consolidado el parque se creó la Reserva Ecológica Comunitaria ante el gobierno de la Ciudad, la cual ha surgido como un instrumento que permite recibir contribuciones económicas por la conservación de un área y sus servicios ambientales. De esta manera se han creado empleos temporales para realizar acciones de reforestación y protección de suelo. El tener ingresos para apoyar a todos los miembros del ejido en diversas actividades ha permitido una mayor cohesión entre los miembros, e incluso la participación de niños y mujeres (Carabias *et al.*, 2010).

San Juan Nuevo Parangaricutiro

La comunidad indígena purépecha de San Juan Nuevo Parangaricutiro en el municipio de Nuevo San Juan, tiene 18,139 ha de bosques comunales de pino y encino. La historia de comunidad está marcada por la erupción del volcán Parícutín en 1944 y el programa Bracero, un programa de contrato de trabajo entre los gobiernos de Estados Unidos de América y México que se llevó a cabo desde los años cuarenta hasta principios de los sesenta¹⁰.

Antes de 1980, los bosques de este ejido fueron explotados por empresas particulares, que hicieron un uso irracional de los bosques. Los comuneros dueños de las tierras tuvieron nula participación, razón por lo cual, la comunidad no recibía ingresos por la corta de madera (Bonfill, 2002). En 1979 se obtuvo la primera autorización de aprovechamiento forestal y en 1981 la comunidad inició el aprovechamiento. En 1983 se estableció un primer aserradero, marcando el inicio del proceso organizativo de la comunidad¹¹.

Actualmente la comunidad cuenta con 18,138.25 hectáreas, bajo los siguientes usos: arbolado bajo cultivo silvícola, 10,464 ha; arbolado de protección y áreas de recreación,

¹⁰ <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/431/cap8.html>

¹¹ <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/296/cap5.html>

578 ha; plantaciones forestales, 1,100 ha; plantaciones agrícolas, 3,162 ha; plantaciones frutícolas, 1,208 ha; con lava volcánica, 1,626 ha (Barton y Merino, 2004).

Dentro de las prioridades de la comunidad se encuentra el proporcionar empleo a personas discapacitadas, reforestar para mantener saludables sus bosques y el incremento del ecoturismo.

Ixtlán de Juárez

Ixtlán de Juárez es una comunidad de origen zapoteco que se localiza en la región conocida como Sierra Norte en el estado de Oaxaca. Los bosques comunales de Ixtlán, al igual que los de otras comunidades de la región de la Sierra Juárez, estuvieron concesionados hasta principios de la década de 1980 a la empresa paraestatal Fábricas de Papel Tuxtepec. En 1988 Ixtlán formó su propia empresa comunal denominada Unidad Comunal Forestal, Agropecuaria y de Servicios (Acosta *et al.*, 2010). Por otra parte, en enero de 1992 obtuvo la concesión para operar sus propios Servicios Técnicos Forestales, los cuales dependen directamente del Comisariado de Bienes Comunales. Actualmente, la superficie sujeta a aprovechamiento forestal es de 3,492.25 ha y cuentan con aserradero, estufa de secado y fábrica de muebles (Acosta *et al.*, 2010).

Otra de las actividades desarrolladas en la comunidad de Ixtlán es llevada a cabo por la empresa de ecoturismo comunal denominada Ecoturixtlán “Shiaa Rua Via”. Cada año, posterior al ciclo de aprovechamiento la comunidad realiza actividades de reforestación y busca proteger las áreas de bosque mediante la vigilancia permanente de las zonas forestales¹².

Ahora bien, ¿Cuál ha sido la clave para que estos ejidos y comunidades tengan éxito en términos económico, social y ambiental? ¿Qué han hecho diferente al resto de ejidos y comunidades en donde no se ha alcanzado el éxito deseado?

Los recursos naturales de todos estos ejidos y comunidades tuvieron una situación inicial en común: la sobreexplotación por parte de empresas privadas o paraestatales; donde los dueños eran considerados únicamente como mano de obra. Otra característica es el nivel que la organización social de sus miembros ha alcanzado, estos ejidos realizan el aprovechamiento de sus tierras bajo títulos semicolectivos, con objetivos comunes como mejorar la calidad de vida de sus integrantes mediante el aumento de empleos, mayores ingresos y el control de sus recursos naturales.

¹² http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/pea_pp_2006_005.pdf

En todos estos casos, la protección al ambiente es un valor intrínseco de las diversas actividades de aprovechamiento, lo cual apoya la premisa que la restauración de las áreas forestales degradadas debe realizarse con especies que en el futuro no solo representen beneficios ecológicos, si no también sociales y económicos.

Diversos estudios han mostrado que, cuando se permite a las comunidades manejar sus tierras y obtener beneficios de éstas, se logran resultados positivos en términos de conservación, logrando impulsar la economía regional, impulsar el desarrollo endógeno de las comunidades y fortalecer la gobernabilidad local (Carabias *et al.*, 2010).

4.4. La importancia de utilizar especies nativas en la reforestación con fines de restauración

La sucesión ecológica puede entenderse como un proceso evolutivo natural, resultado de la modificación del ambiente físico por causas internas o externas al ecosistema. Este ecosistema por su propia dinámica sustituye a los organismos que lo integran. El proceso culmina con el establecimiento de un ecosistema biológicamente estable (Walker, 2005, Figura 3).

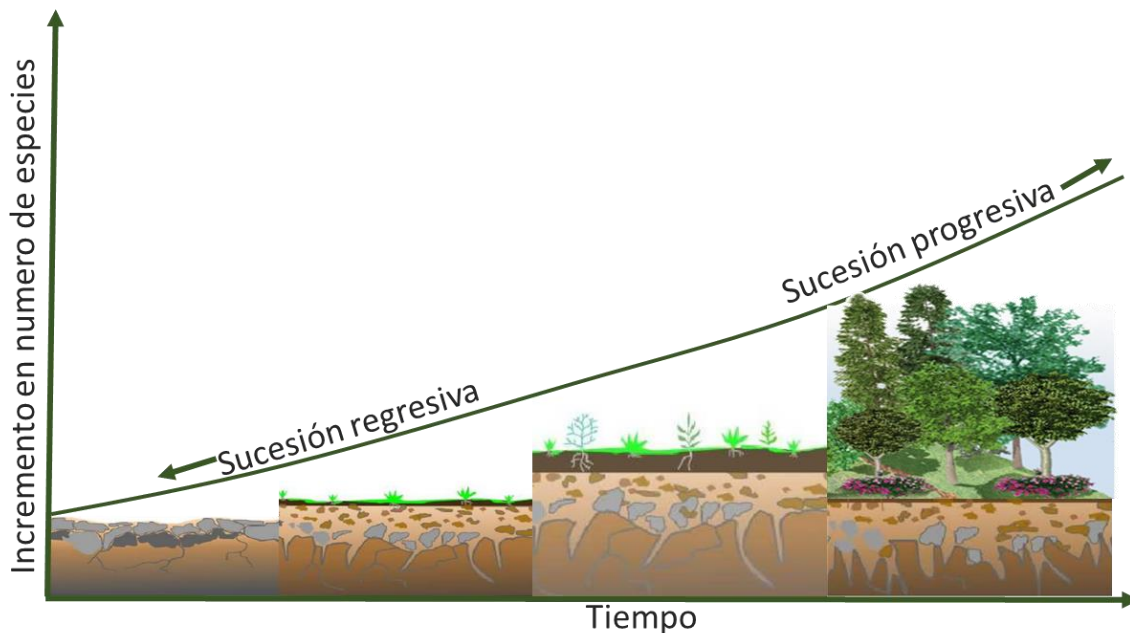


Figura 3. Sucesión ecológica en un ecosistema terrestre.
Fuente: Elaboración propia.

En términos de restauración, la sucesión ecológica es imprescindible, ya que permite establecer la base sobre los procesos mediante los cuales las comunidades bióticas dentro del ecosistema restaurado responden a las distintas afectaciones y permite valorar si éstas ocurren de manera similar a las condiciones de un ecosistema no perturbado.

Eugene Odum, el autor clásico de ecología en su obra “The Strategy of Ecosystem Development” señaló que entender el proceso de sucesión en un ecosistema es de importancia central para gestionar una gran cantidad de procesos ambientales (Christensen, 2014). Esta aseveración es de particular notoriedad en la intervención para restaurar un ecosistema forestal degradado y en las actividades de conservación (Granados y López; 2000 y Christensen, 2014).

Es preciso indicar que la sucesión ecológica, más allá de ser un proceso mecánico y predecible, es de naturaleza estocástica (Vanegas, 2009; Christensen, 2014). Esta condición puede ser el producto de que alguno de los tres procesos propuestos por Connell y Slatyer ocurran solos o simultáneamente (Figura 4):

- 1) Facilitación: Situaciones en las que una especie o un grupo de especies modifica su entorno para facilitar el establecimiento de otras especies.
- 2) Tolerancia: Es un modelo nulo, donde las capacidades de dispersión, historias de vida y longevidad de diversas especies determinan el proceso de sucesión.
- 3) Inhibición: Situaciones en que las especies invasoras tempranas usurpan los recursos disponibles y evitan o limitan el establecimiento de otras especies. La sucesión ocurre cuando las poblaciones de las especies invasoras comienzan a declinar.

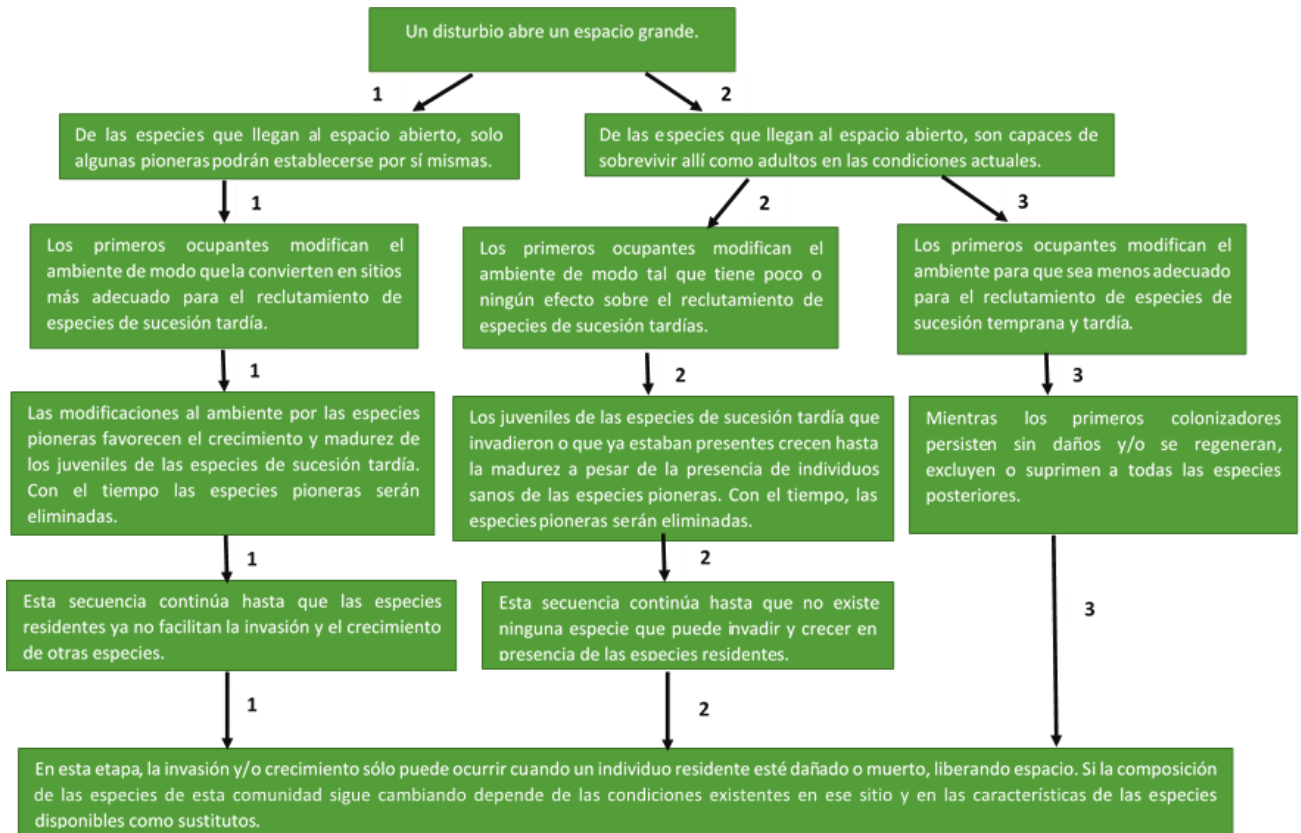


Figura 4. Tres modelos de los mecanismos que producen la secuencia de las especies en la sucesión.

Fuente: Connell y Slatyer (1977).

Considerando lo vertido en párrafos anteriores, las acciones de reforestación se justifican cuando se busca intervenir con el propósito de acelerar el proceso de sucesión ecológica.

Los trabajos de reforestación con fines de restauración deben realizarse con especies nativas y evitar el uso de especies introducidas. De acuerdo con Aguirre *et al.* (2009) y Gurevitch y Padilla (2004) el uso de especies introducidas puede desencadenar problemas ecológicos, como la pérdida de biodiversidad, el incremento de enfermedades, la disminución de alimento y nutrientes para las especies nativas. Los casos revisados por Christensen (2014) indican que las especies introducidas pueden comportarse como invasoras y evitar el establecimiento de especies nativas, lo que mermaría los resultados de todos los esfuerzos que se realicen en materia de restauración.

Tal como es explicado por la CONABIO (2010) el comportamiento invasor no está limitado/restringido a las especies exóticas, ya que algunas especies nativas pueden demostrar un comportamiento invasor cuando son introducidas a otra región ecológica distinta a su área de distribución en el mismo país (traslocación), o incluso en su sitio de origen, cuando se altera la dinámica ecológica del lugar.

En la Estrategia Nacional de Especies Exóticas Invasoras (CONABIO, 2010) se señala, con base en lo indicado por Kolar (2004) que, “a pesar de que no todas las especies exóticas se vuelven invasoras de forma inmediata, los efectos potenciales de una especie no nativa son impredecibles y pueden llegar a ser devastadores, por lo que la defensa más eficiente es la prevención...”. En dicha Estrategia también se indica que hay especies exóticas que, en ausencia de especies mutualistas asociadas, pueden no afectar el ecosistema donde fueron introducidas.

El dinamismo de las comunidades hace necesario que los objetivos de la restauración no se enmarquen en un escenario estático, ya que esto podría reducir las posibilidades de recuperar las áreas forestales. En Estados Unidos, por ejemplo, durante mucho tiempo el manejo de las áreas forestales trató de excluir el fuego, sin considerar que muchas especies han evolucionado en presencia de este elemento. Los administradores ahora reconocen la necesidad de incluir el manejo del fuego dentro de la administración de las áreas forestales, por ejemplo, a través del uso de quemas prescritas, realizadas con el objetivo de remover material de ignición y eliminar la continuidad de combustibles vivos, aunque la magnitud de los umbrales de fuego puede causar efectos no deseados (Mantgem *et al.* 2016).

En cualquier caso, los objetivos no pueden expresarse exclusivamente en términos de las prácticas de restauración y conservación que se emplean. El interés no debe centrarse en la restauración o conservación de las dinámicas de los ecosistemas *per se*; más bien se debe enfocar en la biodiversidad y los procesos de los ecosistemas clave que dependen de éstos. El manejo exitoso depende de una clara articulación de los objetivos específicos para la conservación de la biodiversidad y los procesos del ecosistema (Christensen, 2014).

Otro elemento de suma importancia en los ecosistemas forestales lo constituyen los remanentes de vegetación natural, consecuencia de las perturbaciones presentes en los ecosistemas (Wang *et al.*, 2016). Las perturbaciones conducen a cambios en la estructura de la vegetación; y los remanentes de vegetación nativa (parches producto de las perturbaciones) constituyen una posibilidad para a partir de ellos, iniciar actividades de restauración forestal. Estas áreas pueden considerarse resilientes de las actividades humanas y refugio de especies (Gomes *et al.*, 2012 y Prach, 2003; citados por Castañeda, 2015).

De esta forma, los proyectos de restauración deben considerar la sucesión ecológica, determinar la presencia/ausencia de bancos de semillas, elegir las prácticas más adecuadas en función del contexto del ecosistema y optar por el uso de especies nativas.

5. Restauración forestal bajo un enfoque de cuenca (Restauración Hidrológico-Forestal)

En esta sección del Manual se enfatiza la importancia de realizar las acciones de restauración forestal bajo un enfoque de cuenca, considerando aspectos esenciales del paisaje.

De igual forma, se brinda un panorama general de los criterios a considerar para la construcción de obras de conservación de suelo para la restauración de cuencas.

5.1 Cuenca hidrográfica

En las cuencas hidrográficas se sostienen sistemas biofísicos, socioeconómicos y político-administrativos, que interactúan entre sí y conforman un gran sistema natural; estos espacios de territorio presentan características idóneas para la gestión sostenible de los recursos naturales con alta participación social, de tal forma que el desarrollo se genere desde adentro (Rodríguez, 2006). Por esta razón, se les considera un excelente medio para diseñar e instrumentar políticas orientadas al desarrollo rural y al manejo integral y sostenible de los ecosistemas (Sepúlveda y Rojas, 2002).

Una cuenca hidrográfica es un área limitada físicamente por su topografía, en donde las aguas superficiales son drenadas por una corriente o sistema de corrientes, de caudal continuo o intermitente, que pueden desembocar en un río principal, en una laguna o bien directamente en el mar. En los trabajos de conservación y restauración de ecosistemas es considerada como la unidad de planeación (Franquet, 2005; CONAFOR, 2014b). Las características propias de una cuenca son la forma, el tamaño, el relieve y la vegetación.

En una cuenca se pueden distinguir la parte alta, la parte media y la parte baja. La parte alta o parteaguas se conforma de laderas y montañas caracterizadas generalmente por su topografía abrupta, en la parte media se identifica el sistema de corrientes de agua así como las tierras onduladas y valles que conforman las áreas de transición donde se realizan diversas actividades productivas que propician el cambio de uso de suelo. Las partes bajas se distinguen por su topografía plana, que es aprovechada para la agricultura y para los asentamientos humanos (Figura 5).



Figura 5. Partes de una cuenca.

Fuente: World Vision (2004).

Una cuenca también puede ser dividida en subcuencas y microcuencas en función del drenaje superficial. Una subcuenca se conforma por el área de escurrimiento que alimenta a un afluente secundario; mientras que la microcuenca es el área de influencia de un afluente terciario (Figura 6).

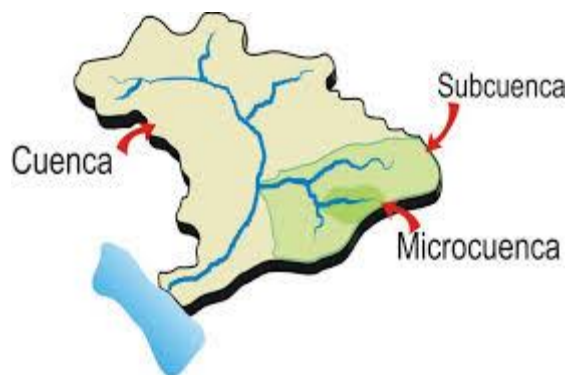


Figura 6. Cuenca, subcuenca y microcuenca.

Fuente: Ordoñez (2012).

Por el sistema de drenaje, las cuencas pueden ser clasificadas de la siguiente forma:

- a) Arréicas. Cuando no logran drenar a un río, mar o lago; sus aguas se pierden por evaporación o infiltración sin llegar a formar una red de drenaje.
- b) Criptoirrécicas. Las redes de drenaje superficial carecen de un sistema organizado de afluentes, por lo que las corrientes son subterráneas (zonas cársticas).
- c) Endorrécicas. Cuando las aguas son drenadas a un embalse o lago sin llegar al mar.
- d) Exorrécicas. Si las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o el mar.

5.1.1. La Cuenca Hidrográfica como Sistema

El sistema de la cuenca hidrográfica se conforma por cuatro subsistemas, que varían de acuerdo con el medio en que se ubica la cuenca y el nivel de intervención del factor humano (World Vision, 2004):

- a) Biológico. Integrado esencialmente por la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre.
- b) Físico. Integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radicación, precipitación, evaporación, etc.).
- c) Económico. Se compone de las actividades productivas que realiza el hombre en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria y servicios para satisfacer necesidades propias y de la sociedad en general.
- d) Social. Está integrado por elementos demográficos, culturales, organizacionales y políticos.

Estos subsistemas se encuentran interrelacionados y en equilibrio entre sí, de tal forma que al afectarse uno de ellos, el resto se desbalancea poniendo en peligro todo el sistema (Ramakrishna, 1997). Por ejemplo, si se deforesta irracionalmente la parte alta de la cuenca, es probable que en el periodo de lluvias se genere erosión, inundaciones y diversos problemas socioambientales en la parte media y baja de la cuenca.

Como ya se indicó, México es el cuarto país del mundo con mayor riqueza biológica (Espinosa *et al.*, 2008), sin embargo, es también uno de los países donde la diversidad se ve más amenazada por la destrucción de los ecosistemas y el deterioro de sus cuencas.

5.2. El Manejo Integral de Cuencas

El propósito de manejar una cuenca de forma integral es evitar que los subsistemas que interactúan dentro de ella se degraden, eliminen o contaminen, y que además, las personas que en ella habitan puedan satisfacer sus necesidades de forma que alcancen una calidad de vida óptima, en armonía con su ambiente.

El objetivo primordial del manejo de una cuenca es lograr un uso racional de los recursos naturales que en ella existen, considerando al hombre y la comunidad como el agente

protector o destructor (Ramakrishna, 1997). El manejo integral con enfoque de cuenca se logra con la ordenación de las áreas y sus usos de la parte alta a la parte baja.

El manejo integral de cuencas con enfoque de sistema es un instrumento idóneo para planificar proyectos territoriales estratégicos (en donde en caso de ser necesario, se incluyan proyectos de restauración forestal), constituye un marco para el análisis de los procesos ambientales como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos naturales proporcionando mayores resultados que las acciones sectoriales aisladas y dispersas de poco o nulo impacto (Cotler y Priego, 2004; López *et al.*, 2013).

5.3 Restauración a nivel de cuencas y análisis de paisaje

Como entidad espacial, la cuenca funciona como un sistema complejo, dinámico y abierto, sin embargo, esta unidad no engloba la idea de homogeneidad, por lo que el gran reto para la caracterización del medio biofísico consiste en delimitar unidades ambientales homogéneas donde se pueda realizar una caracterización integral de los componentes naturales que permita conservar su integralidad sin perder de vista la heterogeneidad espacial. Para ello, el análisis del paisaje es de gran utilidad, pues permite obtener el inventario de los ecosistemas a nivel geográfico (Priego *et al.*, 2004).

El paisaje se define como un área terrestre heterogénea compuesta por un conjunto de ecosistemas interactivos que se repiten en forma similar a lo largo de un área dada (Forman *et al.*, 1981). Turner *et al.* (2001) definen al paisaje como un área que es espacialmente heterogénea en al menos un factor de interés (espacial o proceso ecológico). En general, se entiende por paisaje cualquier área de la superficie terrestre producto de la interacción de los diferentes factores presentes en ella y que puede ser observado en el espacio como un mosaico de elementos; en donde se distingue una matriz, que es la cobertura predominante en superficie y con mayor conectividad; conjuntos de parches que son porción de áreas diferentes a las coberturas que la rodean, un corredor que tiene la función principal de conectar a los parches y aumentar el flujo de las especies entre los diferentes parches; los bordes son porciones de superficie cercana al perímetro de una cobertura, las condiciones ecológicas y ambientales presentes son el resultado de su interacción con la cobertura adyacente (Forman, 1997; Turner *et al.*, 2001; Mace *et al.*, 2012; Matthew *et al.*, 2015;).



Figura 7. Paisaje de la selva mediana del estado de Guerrero.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2012).

La restauración del paisaje forestal (RFP, FLR en inglés) representa un enfoque relativamente nuevo dentro de la restauración forestal; ha sido definido como “un proceso planificado que pretende recuperar la integridad ecológica y mejorar el bienestar humano en paisajes forestales que han sido deforestados o degradados” (Mansourian, 2005; Maginis *et al.*, 2007; Newton *et al.*, 2011).

El enfoque de restauración considerando a la cuenca como unidad de estudio y al paisaje como rector de la composición y organización del ecosistema posee una visión de futuro que además de preocuparse por devolver a los bosques su estado original, intenta fortalecer la resiliencia de los paisaje forestales y mantener abiertas opciones futuras que permitan beneficiarse del bosque y sus productos (Dudley *et al.*, 2007; citados por Newton *et al.*, 2011).

La restauración forestal a nivel de paisaje se centra en el restablecimiento de las funciones y procesos clave de los ecosistemas en la totalidad del paisaje, en vez de restaurar pequeñas áreas de forma aislada. De esta forma la restauración se puede dirigir a un mosaico de áreas con diversos usos de suelo, incluyendo tierras agrícolas y diferentes tipos de bosque, en los cuales puede existir una mezcla equilibrada entre protección, manejo y

restauración, que proporcione biodiversidad y beneficios ecológicos, económicos y sociales (Aldrich *et al.*, 2004)

Para hacer posible la restauración del paisaje, es necesario conocer y considerar la composición vegetal actual y pasada, edafología, clima, la interacción con la fauna, así como las actividades que se han desarrollado en el territorio. Ramakrishna (1997) ha hecho mención de que el manejo de los recursos naturales es complejo, y es por ello que las actividades parciales, puntuales y aisladas no alcanzan los resultados esperados.

5.4 Obras de conservación de suelos para la restauración de cuencas

Las obras de hidrología destinadas a la protección, conservación y restauración de cuencas son prácticas o tratamientos mecánicos y/o manuales; en las que se hace uso de materiales como el propio suelo, las rocas, la vegetación y sus residuos (troncos, ramas) y algunos otros de carácter comercial. Tienen por objetivo retener suelo y sedimentos, impedir la formación de cárcavas, atenuar las laderas accidentadas, captar e infiltrar agua de lluvia, reducir la velocidad de los escurrimientos, incrementar la humedad del suelo, mejorar la calidad del agua y reducir el impacto del viento.

Dichas obras deben apearse a las propiedades y necesidades del terreno degradado, para ello se recomienda:

1. Recorrer el perímetro del predio a trabajar y cuantificar la superficie, así como identificar los factores de degradación.
2. Conocer el comportamiento de los escurrimientos superficiales del área, para lo cual se debe estimar la cantidad de agua de lluvia que escurre superficialmente (considerar la precipitación media anual, precipitación mínima y máxima) y los factores que inciden sobre el mismo (Ver Capítulo 4 del manual de Protección, restauración y conservación de suelos forestales de la CONAFOR).
3. Identificar el tipo de vegetación nativa, así como los materiales disponibles para la construcción de obras.
4. Seleccionar las obras para:
 - Restauración de suelos en laderas o cárcavas.
 - Infiltración de agua para recarga de acuíferos.
 - Disminuir la degradación del suelo por erosión hídrica (laminar o en cárcavas), eólica, química o física.
 - Captación de agua para reforestación de especies nativas.

De acuerdo con el manual de la CONAFOR, las obras y prácticas que pueden ser empleadas para la protección, conservación y restauración de suelos se enlistan a continuación¹³:

Cuadro 3. Obras y prácticas de conservación de suelo empleadas en la restauración hidrológico-forestal.

Obras en laderas	Obras en cárcavas
<ul style="list-style-type: none"> •Zanjas trinchera •Sistema de zanja-bordo •Terrazas de formación sucesiva •Bordos en curvas a nivel •Roturación •Barreras de piedra en curvas a nivel •Acomodo de material vegetal muerto •Barreras vivas •Terrazas de muro vivo •Terrazas individuales •Cortinas ropeviento •Sistemas agroforestales •Enriquecimiento de acahuales 	<ul style="list-style-type: none"> •Presas de ramas •Presas de geocostales •Presas de llantas •Presas de morillos •Presas de piedra acomodada •Presas de malla •Presas de gaviones •Presas de mampostería •Cabeceo de cárcavas •Estabilización de taludes

A continuación se muestran ejemplos de obras de conservación y restauración de suelos construidos en predios apoyados por la CONAFOR.



Figura 8. Acomodo de material vegetal muerto

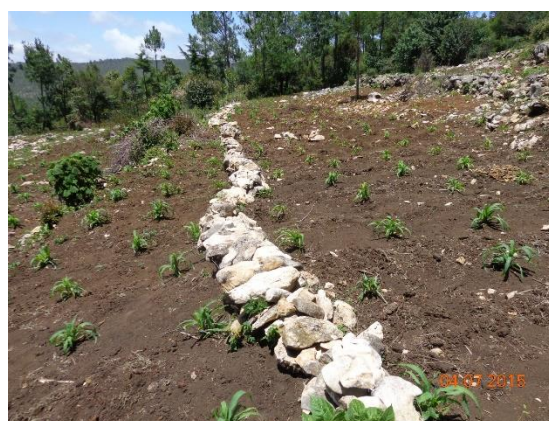


Figura 9. Barrera de piedras en curvas a nivel

¹³ La CONAFOR ha publicado el documento "Protección, restauración y conservación de suelos forestales: Manual de obras y prácticas"



Figura 10. Terrazas individuales



Figura 11. Zanjas trincheras



Figura 12. Presas de morillos



Figura 13. Presas de ramas



Figura 14. Presa de piedra acomodada



Figura 15. Presa de geocostales

Fotografías: 8 a 14 UACH y CONAFOR (2015).

6. Buenas prácticas de reforestación con especies nativas

En este componente del documento se enfatizan los procedimientos para efectuar el proyecto de restauración a diferentes niveles, considerando utilizar obras de conservación y restauración de suelos y reforestación con especies nativas.

6.1. Definición del objetivo de la restauración

La restauración ecológica tiene como objetivo primordial la recuperación integral de un ecosistema que se encuentra parcial o totalmente degradado, en cuanto a su estructura vegetal, composición de especies, funcionalidad y autosuficiencia, hasta llevarlo a condiciones semejantes a las presentadas originalmente, sin excluir el hecho de que se trata de un sistema dinámico (Meffé y Carroll, 1994, citados por Márquez-Huitzil, 2005). Todas las estrategias encaminadas a la restauración deben partir del manejo integral de la biodiversidad considerando los procesos y funciones ecológicas iniciales. Por lo cual no bastará con identificar y terminar con los factores que provocan la degradación, también es necesario ayudar a revertirla mediante estrategias como la reforestación, la biorremediación, las obras de conservación de suelo, frenar la propagación de especies invasoras y la zonificación para detener el cambio de uso de suelo, entre otras.

Para garantizar su éxito en el largo plazo, los trabajos de restauración ecológica deben ser viables en tres aspectos: ecológico, económico y social. Habitualmente los técnicos con formación forestal enfocan sus energías en emprender acciones de restauración técnicamente viables, pero al desestimar los otros dos aspectos, se limita la participación de los actores sociales involucrados en el proceso.

6.2. Identificación y delimitación de zonas potenciales a restaurar

Con base en lo establecido por la CONAFOR-SEMARNAT en documentos como la Guía de Restauración de ecosistemas forestales, el Manual de Zonificación Ecológica de Especies Forestales y la Aplicación de Modelos de Simulación del Efecto del Cambio Climático, se propone una metodología que permita identificar y delimitar las áreas degradadas y potenciales de restaurar mediante reforestación con especies nativas.

En la selección de las áreas potenciales se recomienda utilizar técnicas espaciales basadas en análisis multicriterio y álgebra de mapas; bajo la consideración de criterios e indicadores biofísicos, socioeconómicos, culturales y políticos.

En este documento se hace énfasis en los primeros tres criterios (Cuadro 4).

Cuadro 4. Criterios e indicadores biofísicos, socioeconómicos y culturales que se recomienda considerar para realizar actividades de restauración forestal.

Biofísicos	Socioeconómicos	Culturales
Temperatura media anual	Densidad de población	Grupo étnico
Precipitación media anual	Actividades económicas	Usos y costumbres
Tipo de suelo	Educación	Uso de recreativo
Tipo de clima	Vías de comunicación	Uso medicinal
Altitud	Tenencia de la tierra	
Índice de fragmentación	Índice de desarrollo humano	
Pendiente promedio		
Exposición predominante		
Tipo de vegetación		
Porcentajes de cobertura arbórea		

Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada.

6.3 Criterios para la caracterización del sitio a restaurar

En México se ha definido que el bosque es una porción de terreno que como mínimo tiene una ha de superficie (1 ha), una cobertura de dosel de al menos 30 % y una altura mínima del arbolado de 4 m (Sasaki y Putz, 2009; citados por Leyva, 2016). Esta definición cumple con los criterios sugeridos por Thompson *et al.* (2013; citados por Leyva, 2016) quienes sugirieron contemplar el umbral (valor) de tres características cuantitativas: cobertura de copa, superficie mínima y altura del arbolado, los cuales pueden estar relacionados con las existencias de biomasa y carbono (Morales-Barquero *et al.*, 2014; citados por Leyva, 2016).

Hay una gran variabilidad de definiciones de degradación forestal. Operativamente, esta restricción limita la estandarización de acciones para contrarrestarla, pues introduce un sesgo en función del evaluador de la degradación.

En este texto, se entenderá como bosque degradado aquel cuyas alteraciones (de origen antropogénico o natural) han deteriorado las condiciones de su estructura y composición (vertical y horizontal) a un grado en el que su capacidad de resiliencia se ha visto disminuida y en consecuencia, se ha afectado la capacidad del bosque para producir bienes (por ejemplo madera, hongos, resinas, ceras, entre otras) y servicios ecosistémicos. El deterioro existente justifica la intervención humana.

La degradación forestal es un tema complejo en la gestión de los recursos naturales. Al igual que en otras actividades productivas, los beneficiarios de las actividades que generan la degradación no pagan todos sus costos, hay incentivos para generar más degradación de la que sería racional en sentido económico estricto y la degradación altera la distribución de la riqueza, lo que podría conducir tanto a una mayor como a una menor equidad, según quién gane o pierda (Lipper, 2000).

Aunque comparar el estado del bosque con la condición original es una recomendación frecuente, no siempre es posible, sobre todo en los casos donde los procesos de degradación han sido observados por varias generaciones. Por ejemplo, en la mixteca oaxaqueña, en Tlaxcala y el semidesierto del centro y norte del país donde las personas refieren que nunca ha habido bosque, sin embargo, los pequeños parches con vegetación primaria o vegetación secundaria constituyen una posibilidad para orientar los trabajos de restauración.

En 2012 se realizó un taller denominado Monitoreo de la Degradación de los Ecosistemas, que contó con la participación de más de 40 especialistas de diferentes instituciones nacionales. Dichos especialistas coincidieron en la necesidad de fortalecer los esfuerzos actuales para el monitoreo de los recursos naturales a través de la incorporación de objetos de estudio relacionados con la composición, estructura y función de los ecosistemas; así como de su nivel de degradación; con una alta resolución espacial y temporal, a bajo costo y que permita ser analizado desde diferentes ópticas de especialización. Se propuso incorporar el muestreo de fauna al Inventario Nacional Forestal y de Suelos y el establecimiento de sitios para monitoreo permanente a cargo de universidades, Áreas Naturales Protegidas, Organizaciones de la Sociedad Civil y en los proyectos apoyados por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) (García-Alaniz y Schmidt, 2012).

Las reducciones en cobertura de copa, altura de los árboles y afectación al estrato arbustivo y herbáceo quizá son los elementos más fáciles de identificar en un área forestal. Leyva propuso evaluar la degradación con un índice que utiliza variables como volumen y densidad (número de árboles/ha, cobertura de dosel, área basal), así como indicadores de daño específico en el arbolado y de biodiversidad de abundancia proporcional de Shannon-Wiener (Leyva, 2016).

El autor señaló la conveniencia de mejorar este índice con información auxiliar sobre la salud forestal (presencia/ ausencia de incendios, actividades de detección de plagas y enfermedades). Sin embargo, un elemento que este índice no considera (de vital importancia) es el suelo. La condición de degradación del suelo puede estar relacionada con su nivel de compactación.

En este manual se propone caracterizar los sitios que serán restaurados en función de los siguientes elementos:

1. Ubicación del predio dentro de la cuenca
2. Estructura de la vegetación (vertical y horizontal) en los remanentes de vegetación primaria o en la vegetación secundaria)
3. Diversidad
4. Compactación del suelo
5. Fragmentación del paisaje
6. Distribución potencial de la especie
7. Salud forestal
8. Susceptibilidad ante actividades antropogénicas

A continuación se describen brevemente los mecanismos para caracterizar los sitios a restaurar.

6.3.1. Ubicación del predio dentro de la cuenca

Las características fisiográficas de las superficies dentro de una cuenca determinan su aptitud potencial. Faustino y Jiménez (2000) identificaron seis vocaciones potenciales de las cuencas: hídrica, forestal, agrícola, pecuaria, recreativa y ecológica; determinadas por los recursos más abundantes en calidad y cantidad, además de su capacidad de soporte y los valores socioculturales y económicos que definirán el uso más apropiado de la cuenca.

El manejo adecuado de cuencas implica definir las áreas apropiadas para la producción o para la conservación, o bien, realizar acciones productivas sin ocasionar graves efectos negativos sobre los recursos naturales. Existen diversas prácticas recomendadas con este objetivo, entre las que se encuentran distintas prácticas agronómicas, forestales, agroforestales, estructuras hidráulicas, manejo de áreas protegidas, control de torrentes y defensas de riberas, uso adecuado de agroquímicos y plaguicidas, servicios ecológicos y agroindustrias (Faustino y Jiménez, 2000).

Analizar el predio donde se efectuarán actividades de restauración forestal en el contexto de la cuenca es importante porque sus condiciones tendrán efectos en el proyecto. En función de su magnitud, la recuperación de las áreas forestales degradadas tendrá un efecto en la estabilización de la cuenca ante los mecanismos torrenciales a través del incremento de la infiltración y la reducción de la velocidad del escurrimiento superficial, entre otros (Mintegui y Robredo, 1994).

La interacción dentro de los diferentes usos y presiones del suelo presentes en la cuenca podrá influir sobre el éxito de los proyectos de restauración. Por ejemplo, Lindig-Cisneros y

Zambrano (2009) indicaron que en los casos donde el régimen hídrico ha sido alterado por acciones como deforestación o sobreexplotación de acuíferos es prácticamente imposible restaurar humedales similares a los que se degradaron o crear humedales ricos en especies nativas.

En una cuenca hidrográfica, el proceso de degradación se puede localizar en las laderas, o en los cauces y los valles. En términos prácticos, es prioritario iniciar los procesos de restauración en las partes altas de las cuencas, pues si éstas se encuentran desprotegidas, los procesos erosivos pueden afectar los resultados de las plantaciones establecidas en las secciones medias o baja. En los casos donde las masas forestales de las partes altas no tienen problemas de degradación, los procesos de restauración podrían realizarse inicialmente en la sección media de la cuenca.

6.3.2. Análisis de la estructura de la vegetación

La estructura de la vegetación puede entenderse como la constitución de un bosque en términos de especies, estratos, clases de edad y tamaño de los árboles (Musálem y Fierros, 1996). Mediante manejo forestal la estructura puede ser modificada a través del control de la composición del bosque, la densidad de plantación y cortas de regeneración.

6.3.2.1. Estructura vertical de la vegetación

La estructura vertical de la vegetación juega un papel muy importante en los proyectos de restauración, ya que influye en la dinámica suelo-planta, modifica el ciclo de reproducción, disminuye el crecimiento de maleza, y tiene una relación muy importante con factores abióticos, como la temperatura, la humedad y el aprovechamiento de la luz (Zehm *et al.*, 2003).

Es también un factor determinante para definir el hábitat de las comunidades de origen animal, ya que permiten protección a las especies de diferentes estratos y definen el comportamiento de las especies (Wood *et al.*, 2012, Hutto *et al.*, 2014).

En la Figura 16 se representa un bosque incoetáneo mezclado, con ejemplares de diferentes especies, diferentes alturas y diámetros variables.



Figura 16. Representación gráfica de un bosque incoetáneo mezclado.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con autores como Stark *et al.* (2015) y Musálem y Fierros (1996), mantener un bosque con las características anteriores favorece en mayor grado la restauración ecológica, debido a que la mezcla de especies las hace menos propensas a daños por plagas y enfermedades, albergan una mayor cantidad de mesofauna¹⁴, lo que hace más eficiente el reciclado de nutrientes, la fauna silvestre se ve altamente beneficiada por una mayor cantidad de alimento y refugio.

Para describir la estructura vertical de la vegetación se pueden elaborar histogramas de frecuencias por categorías de altura. La Figura 17 muestra el histograma que describe al bosque representado en la Figura 16.

¹⁴ Organismos descomponedores de la materia orgánica que miden de 0.1 a 2mm, comúnmente escarabajos y ácaros).

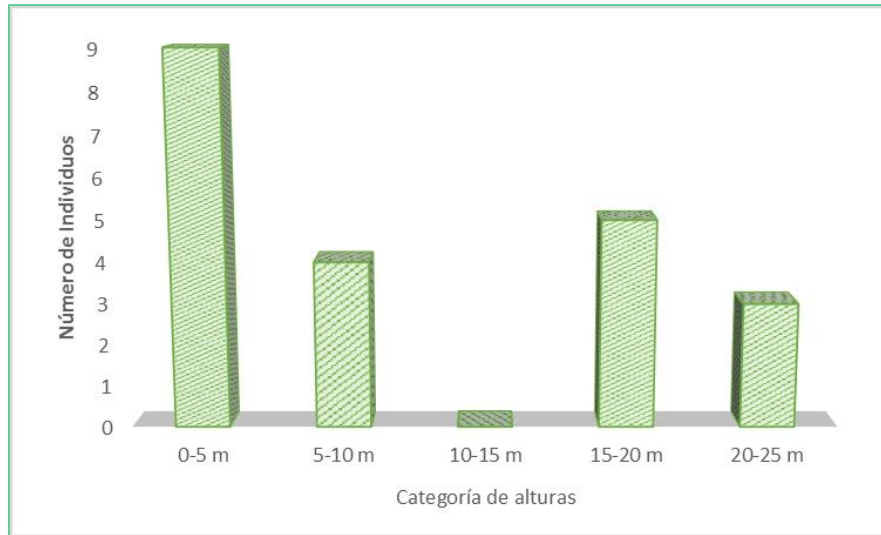


Figura 17. Estratificación vertical del componente arbóreo.
Fuente: Elaboración propia.

Existe un variado instrumental diseñado para determinar la altura de los diferentes estratos que conforman un ecosistema, por ejemplo el clinómetro/brújula Suunto, el relascopio de Bitterlich, el medidor láser, la pistola haga, etc.

Cada una de las herramientas enlistadas en el párrafo anterior tiene un costo relativamente alto. En términos prácticos, si se careciera de éstas podría recurrirse a la construcción de un clinómetro casero, que se basa en principios trigonométricos y cuyo uso otorga un nivel de precisión aceptable.

6.3.1.1.1. Clinómetro casero

La elaboración del clinómetro requiere de materiales sencillos: un transportador, un tubo pequeño (puede ser un popote), 10 cm de hilo delgado y una plomada (Figura 18).

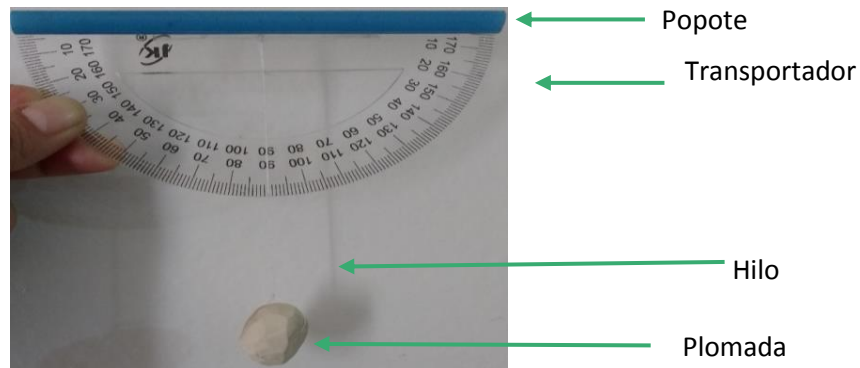


Figura 18. Clinómetro casero.
Fotografía: Magda Vanegas López.

La forma de determinar la altura de los árboles se muestra en la Figura 19.

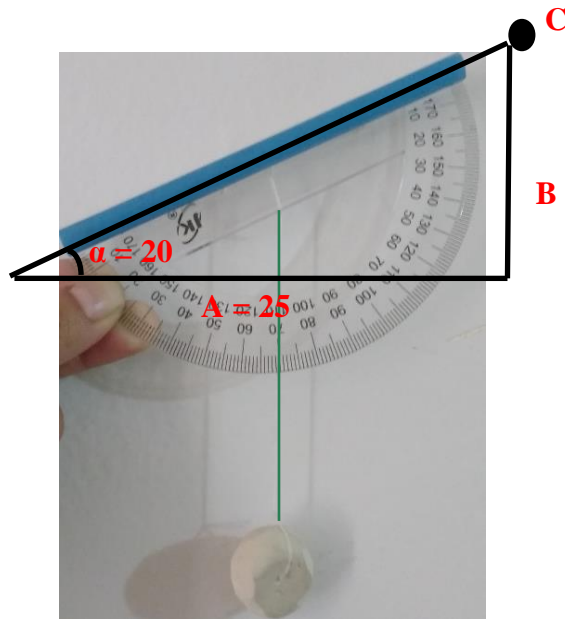


Figura 19. Relación trigonométrica para determinar la altura de los arboles mediante clinómetro casero. Fotografía: Magda Vanegas López.

En el ejemplo de la Figura 19, el punto C representa la copa del árbol o el punto máximo que se desea medir, A es la distancia del árbol al punto del observador, B es la altura que se desea conocer. Mediante el clinómetro se determina el ángulo α que para este caso es de 20° .

La relación trigonométrica que nos permitirá calcular B es la siguiente:

$$B = (A * \tan \alpha) + \text{la altura del observador}$$

Suponiendo una altura a nivel de los ojos del observador de 1.60, la altura del árbol es de 10.67 metros.

$$B = (25 \text{ m} * 0.363) + 1.60 \text{ m} = 10.67$$

Si se dispone de equipo de cómputo básico, acceso a internet y cámara fotográfica, también se pueden realizar análisis de la estructura de la vegetación a través de un algún software diseñado con este propósito. A continuación se describe brevemente el uso del programa libre denominado Sidelook.

6.3.1.1.2. Sidelook

Una herramienta que ha demostrado ser muy útil para realizar análisis de la estructura de la vegetación mediante el uso de fotografías digitales es el software Sidelook (Nobis y Hunziker, 2005). La manipulación del software es rápida y fácil de aplicar, además de encontrarse disponible de forma gratuita en el siguiente vínculo <http://www.appleco.ch/>.

Entre los parámetros más importantes que pueden ser calculados mediante Sidelook se encuentran la altura por estrato de la vegetación, densidad y heterogeneidad de la vegetación; además realiza cálculos que permiten inferir datos como la movilidad de especies y la penetración de la luz en los diferentes estratos (Zehm *et al.*, 2003; Nobis, 2005).

La metodología consta de cuatro pasos principales:

1. Tomar una fotografía digital panorámica del área que se desea caracterizar. Esta fotografía debe ser tomada con un objeto de referencia de dimensiones conocidas, tal como se muestra en la Figura 20.



Objeto de
dimensiones
conocidas

Figura 20. Fotografía panorámica con objeto de dimensiones conocidas.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2015).

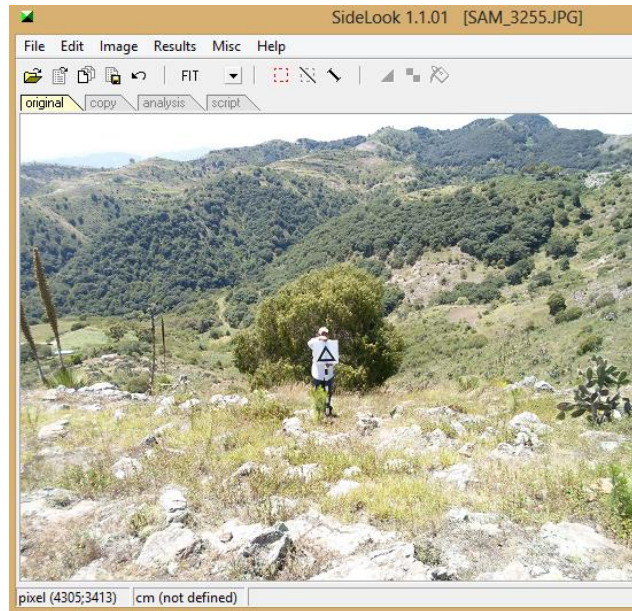


Figura 21. Vista principal del software Sidelook.
Fuente: Elaboración propia con base en el software Sidelook.

3. La fotografía debe sufrir un proceso de ecualización hasta poder distinguir únicamente la vegetación que se desea incluir en el análisis. En la Figura 22, los pixeles en negro representan la vegetación que será tomada en cuenta para todos los cálculos y los pixeles en blanco serán excluidos del análisis.

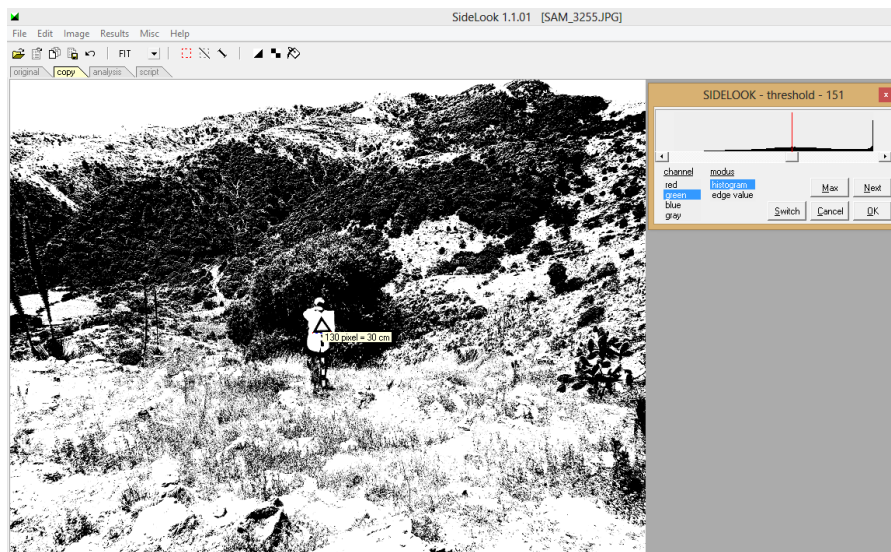


Figura 22. Ecualización aplicada a la imagen original.
Fuente: Elaboración propia con base en el software Sidelook.

4. Seleccionar las variables que se desean calcular (es posible seleccionar todos los que se muestran en la parte izquierda de la Figura 23).

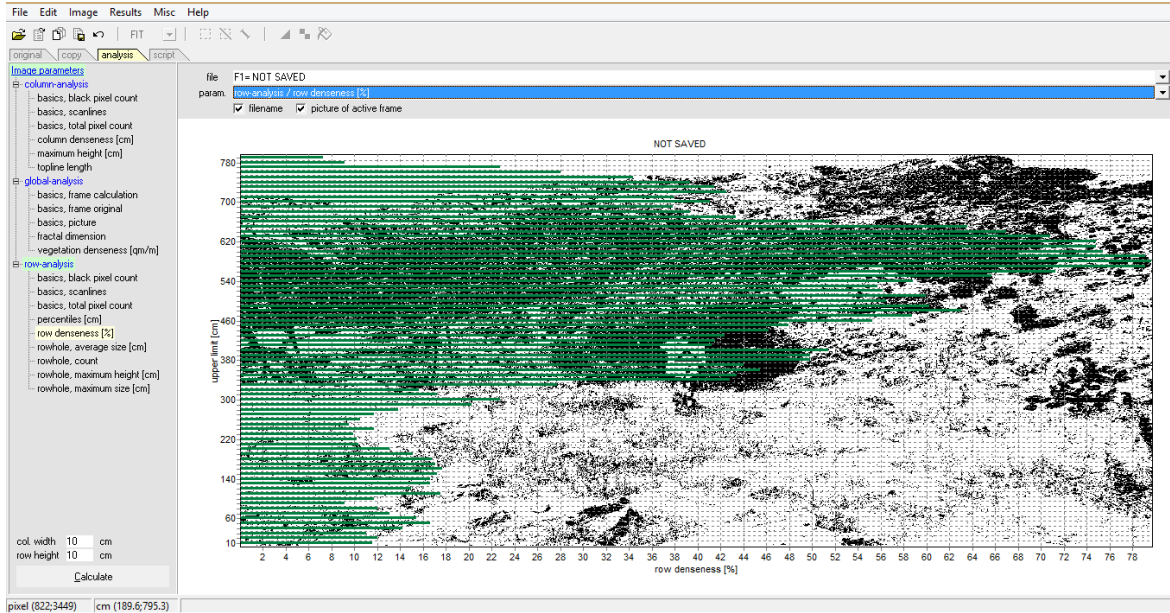


Figura 23. Resultado del análisis en Sidelook.

Fuente: Elaboración propia con base en el software Sidelook.

En este ejemplo, el software detectó en la fotografía alturas de hasta 8.7 metros, cuyos individuos cubren aproximadamente 7 % del área. La altura más baja que pudo detectar fue de 10 cm, con una cobertura cercana al 12 %.

6.3.2.1. Estructura Horizontal de la vegetación

La estructura horizontal de la vegetación busca determinar los individuos que la conforman y su distribución espacial. Su caracterización se relaciona principalmente con la densidad, tamaño de copa de los árboles y el diámetro de su tronco.

La cobertura del dosel desempeña un papel importante en la cantidad de luz solar que llega al suelo del bosque. Cuando se permite la penetración de una gran cantidad de luz solar al piso del dosel, puede llegar a desarrollarse un denso sotobosque. Como resultado de un dosel denso, muy poca cantidad de luz solar llegará hasta el suelo del bosque, y, por consiguiente, el sotobosque será escaso (Musálem y Fierros, 1996).

Generalmente los doseles se clasifican como: abiertos (del 10-39 % del cielo está obstruido por los doseles); moderadamente cerrados (del 40-69 % del cielo está obstruido por los doseles de los árboles) o cerrados (del 70-100 % del cielo está obstruido por los doseles de los árboles).

Existen diversos instrumentos para determinar la cobertura del dosel de los bosques los más utilizados son el densiómetro y la cámara fotográfica con lente “ojo de pescado”.

6.3.2.1.1. Densiómetro

El densiómetro consta de 24 cuadros en la parte central. En éstos se debe estimar el número de cuadros cubiertos por la vegetación. El procedimiento para tal fin se describe a continuación:

1. Sostener el densiómetro de una forma plana a una altura de 1.30 metros (la altura puede variar dependiendo de las condiciones del sotobosque).
2. Cada cuadro debe subdividirse en 4, asignando un valor de 1 a cada cuadrante, por lo que al final se tendrán 96 cuadros (Figura 24).



Figura 24. Densiómetro cóncavo.
Fotografía: Magda Vanegas López.

3. Contar el número de cuadros cubiertos por la sombra del dosel. Se recomienda tomar cuatro lecturas (Norte, Sur, Este y Oeste) y promediarlas.
4. Finalmente para obtener el porcentaje de cobertura, es necesario multiplicar el número de cuadros cubiertos por la constante 1.04.

6.3.2. Índices de diversidad

Existe una gran variedad de índices para medir la diversidad biológica. Los índices de diversidad son aquellos que describen la diferencia existente entre las especies que se desarrollan en un determinado lugar, considerando el número de especies (riqueza) y el número de individuos de cada especie (abundancia) (Moreno, 2001). Estos índices proveen de información para caracterizar el sitio que se pretende restaurar, a continuación se mencionan los más utilizados y recomendados por la literatura.

6.3.2.1. Índice de Simpson

El índice de Simpson es utilizado para determinar la diversidad de una comunidad vegetal. Este índice se deriva de la teoría de probabilidades, y mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos “extracciones” sucesivas al azar, sin reemplazo. La ecuación adecuada para obtener una cifra correlacionada positivamente con la diversidad se presenta a continuación:

$$S=1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

Donde:

S = Índice de Simpson

P_i = abundancia proporcional de la iésima especie (n_i/N)

n_i = Número de individuos en la iésima especie

N = Número total de individuos

6.3.2.2. Índice de Shannon-Wiener

Es uno de los índices más utilizados para determinar la diversidad de especies de plantas en un determinado hábitat. Para utilizar este índice, el muestreo debe ser aleatorio y todas las especies de una comunidad vegetal deben estar presentes en la muestra (Moreno, 2001). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H = \sum P_i * \ln P_i$$

Donde:

H = Índice de Shannon-Wiener

Pi = abundancia relativa

ln = logaritmo natural

6.3.2.3. Índice de equidad

Para conocer qué tan homogéneas son las parcelas o sitios de muestreos en cuanto a la abundancia de las mismas especies se recomienda utilizar el índice de equidad.

$$E = \frac{H}{\ln(S)}$$

Donde:

H = Índice de Shannon-Wiener

S = Número total de especies

Valores cercanos a 1 representan condiciones hacia especies igualmente abundantes y aquellos cercanos a 0 la dominancia de una sola especie (Zarco-Espinoza *et al.*, 2010).

6.3.3. Índices de valor de importancia (IVI)

El índice de valor de importancia es un parámetro que mide el valor de las especies. Fue desarrollado principalmente para jerarquizar la dominancia de cada especie, es de utilidad especial en bosques mezclados. Se estima con base en la suma de tres parámetros principales: dominancia (ya sea en forma de cobertura o área basal), densidad y frecuencia. El resultado revela la importancia ecológica relativa de cada especie en una comunidad vegetal.

Para obtener el IVI es necesario transformar los datos de cobertura, densidad y frecuencia en valores relativos. La suma total de los valores relativos de cada parámetro debe ser igual a 100, la suma total de los valores del IVI debe ser igual a 300.

La fórmula utilizada para calcular el IVI es la siguiente:

$$IVI = \text{Abundancia relativa} + \text{Densidad relativa} + \text{Frecuencia relativa}$$

La dominancia puede calcularse de la siguiente forma:

$$\text{Abundancia relativa} = \frac{\text{Dominancia absoluta por especie}}{\text{Dominancia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

Donde:

$$\text{Abundancia absoluta} = \frac{\text{Área basal o cobertura de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

La densidad relativa se calcula con la fórmula siguiente:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad absoluta por cada especie}}{\text{Densidad absoluta de todas las especies}} \times 100$$

Donde:

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

La frecuencia relativa se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia absoluta por cada especie}}{\text{Frecuencia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

Donde:

$$\text{Frecuencia absoluta} = \frac{\text{Número de cuadros en los que se presenta cada especie}}{\text{Número total de cuadros muestreados}}$$

Para obtener el área basal de los árboles en metros cuadrados se utiliza la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{DAP}{100} \right)^2$$

Donde:

AB = Área basal

DAP = Diámetro a la altura de pecho

6.3.4. Compactación del suelo

La compactación del suelo se puede definir como un proceso mecánico que genera un aumento de la densidad por la reorganización de las partículas del suelo como respuesta a la aplicación de fuerzas externas.

La compactación afecta principalmente la capa superficial del suelo, sección que almacena la mayor cantidad de nutrientes y en la cual se desarrolla la mayor cantidad de raíces de la vegetación. Al disminuir la porosidad del suelo se reduce el crecimiento de las raíces y desarrollo de la fauna del suelo (FAO, 2000; FAO, 2009).

Ante procesos de compactación también se disminuye la permeabilidad del suelo, lo que ocasiona que las plantas sufran estrés hídrico, se incrementa el escurrimiento superficial y la erosión del suelo.

El grado de compactación del suelo está determinado principalmente por el espesor y naturaleza de la hojarasca, contenido de materia orgánica, textura, estructura y el contenido de humedad del suelo.

Para tener una idea del nivel de degradación física del suelo y en específico del grado de compactación, se utiliza el índice estructural IE (Pieri, 1995); mismo que permite conocer el nivel de degradación física del suelo y el grado de compactación. El IE se determina como la relación entre el contenido de materia orgánica y la fracción mineral fina del suelo, con base en la siguiente ecuación.

$$IE = \% \text{ MOS} / (\% \text{ Limo} + \% \text{ Arcilla}) \times 100$$

Los resultados de IE inferiores a 5 indican suelos degradados, IE con valores de 5 a 7 suelos con alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación, IE de 7 a 9 suelos con moderado riesgo a la degradación y valores de IE mayores a 9 son suelos estructuralmente estables.

6.3.5. Materia orgánica del suelo

La materia orgánica (MO) del suelo la conforman principalmente los restos vegetales y animales parcialmente descompuestos y sin descomposición que se encuentran en el suelo, el material orgánico bien descompuesto recibe el nombre de “sustancias húmicas”. La MO mejora la condición física del suelo, aumenta la infiltración del agua, disminuye la erosión y aumenta el potencial productivo.

La materia orgánica contiene cerca del 5 % de nitrógeno total (N), y funge como reserva de este elemento, también es fuente de otros nutrientes como fósforo (P), magnesio (Mg), calcio (Ca), azufre (S) y micronutrientes (FAO, 2009; PPI *et al.*, 1988).

El contenido de materia orgánica del suelo depende de los factores formadores del suelo: clima, vegetación, relieve, material parental y el tiempo.

Existen diversos métodos que permiten conocer el contenido de materia orgánica del suelo, desde los más básicos como la determinación en campo utilizando agua oxigenada (únicamente indica la presencia/ ausencia de MO), la relación del color del suelo con el contenido de MO, hasta aquellos donde la determinación se realiza en laboratorio (por ejemplo, el método por pérdidas de peso por ignición y el de combustión húmeda de Walkley-Black) (NOM-021-RECNAT-2000; La Manna *et al.*, 2007; Vergara-Sánchez *et al.*, 2005).

La Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 describe el procedimiento para determinar la materia orgánica del suelo a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe₃₊ y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77).

Finalmente el % de MO se estima a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ Carbono Orgánico} \times 1.724$$

Los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación de la concentración de materia orgánica en los suelos

Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	<4.0	<0.5
Bajo	4.1-6.0	0.6-1.5
Medio	6.1-10.9	1.6-3.5
Alto	11.0-16.0	3.6-6.0
Muy alto	>16.1	>6.0

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Otra forma de determinar el contenido de materia orgánica en el suelo, aunque menos preciso que los realizado a nivel de laboratorio, es relacionando el contenido de MO con el color del suelo seco y/o húmedo en la tabla Munsell (Cuadro 6). Esta estimación se basa en la suposición de que el color del suelo (valor) es resultado de la mezcla de sustancias orgánicas de color oscuro y minerales de color claro (FAO, 2009). Los valores de materia orgánica siempre deberán ser estimados en el lugar ya que el método no es preciso: es común sobrestimar el contenido de MO en suelos de regiones secas y subestimar en suelos tropicales.

Cuadro 6. Estimación del contenido de materia orgánica basado en el color del suelo de la tabla Munsell.

Color	Valor Munsell	Suelo Húmedo			Suelo seco		
		A	AF, FA, F	FL, L, FYL, FY, FYA, YA, YL, Y	A	AF, FA, F	FL, L, FYL, FY, FYA, YA, YL, Y
		%					
Gris claro	7				<0.3	<0.5	<0.6
Gris claro	6.5				0.3-0.6	0.5-0.8	0.6-1.2
Gris	6				0.6-1	0.8-1.2	1.2-2
Gris	5.5			<0.3	1-1.5	1.2-2	2-3
Gris	5	<0.3	<0.4	0.3-0.6	1.5-2	2-4	3-4
Gris oscuro	4.5	0.3-0.6	0.4-0.6	0.6-0.9	2-3	4-6	4-6
Gris oscuro	4	0.6-0.9	0.6-1	0.9-1.5	3-5	6-9	6-9
Gris negro	3.5	0.9-1.5	1-2	1.5-3	5-8	9-15	9-15
Gris negro	3	1.5-3	2-4	3-5	8-12	>15	>15
Negro	2.5	3-6	>4	>5	>12		
Negro	2	>6					

Nota: Si el croma esta entre 3.5-6, adicionar 0.5 al valor, si el croma es >6, adicionar 1.0 al valor.

Fuente: FAO (2009).

Otra forma de inferir el contenido de MO es conociendo el espesor del mantillo del suelo (hojarasca, frutos, restos de animales, ramas y raíces). El estudio realizado por Barrales (2013) reporta valores del contenido de nitrógeno y fósforo de mantillo en tres tipos de bosques sin manejo: *Fagus grandifolia*, *Quercus spp.* y *Pinus montezumae* (Cuadro 7). Estos valores pueden tomarse como referencia del contenido de dichos nutrientes respecto a la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

Cuadro 7. Contenido de Nitrógeno, Fósforo en mantillos de *Fagus grandifolia*, *Quercus spp* y *Pinus montezumae*.

Especie	Nitrógeno (g Kg ⁻¹)	Fósforo (g Kg ⁻¹)
<i>F. grandifolia</i>	16.33	0.53
<i>Quercus sp.</i>	6.50	0.60
<i>P. Montezumea</i>	11.42	0.57

Fuente: Adaptado de Barrales (2013).

Es preciso reiterar que siempre es recomendable realizar análisis de laboratorio de suelo y mantillo para conocer con mayor exactitud el contenido de materia orgánica.

6.3.6. Textura del suelo

La cantidad de arena, limo y arcilla determinan la textura del suelo. Entre más pequeñas sean las partículas, más se acercan a una textura de tipo arcillosa y cuanto más grande más se aproxima a la textura arenosa. Cuando las proporciones de arena, limo y arcilla son similares se clasifican como suelos francos (USDA, 1999; FAO, 2009).

La separación de las partículas se realiza en función de su tamaño: arena, partículas comprendidas entre 2.0 y 0.05 mm de diámetro, los limos son partículas comprendidas entre 0.05 y 0.002 mm de diámetro y las arcilla son partículas con diámetros <0.002 mm (USDA, 1999).

Los porcentajes de arena limo y arcilla (Cuadro 8) definen la clase textural basándose en el uso del triángulo de texturas (Figura 25).

Cuadro 8. Clase textural en función del contenido de arena, limo y arcilla.

% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural
86 – 100	0 - 14	0 - 10	Arenoso
70 – 86	0 - 30	0 - 15	Areno Francoso
50 – 70	0 - 50	0 - 20	Franco arenoso
23 – 52	28 - 50	07 - 27	Franco
20 – 50	74 - 88	0 - 27	Franco limoso

0 – 20	88 - 100	0 - 12	Limoso
20 – 45	15 - 52	27 - 40	Franco arcilloso
45 – 80	0 - 28	20 - 35	Franco arcillo arenoso
0 – 20	40 - 73	27 - 40	Franco arcillo limoso
45 – 65	0 - 20	35 - 55	Arcillo arenoso
0 – 20	40 - 60	40 - 60	Arcillo limoso
0 – 45	0 - 40	40 - 100	Arcilloso

Fuente: Elaboración propia, con base en USDA (1999).

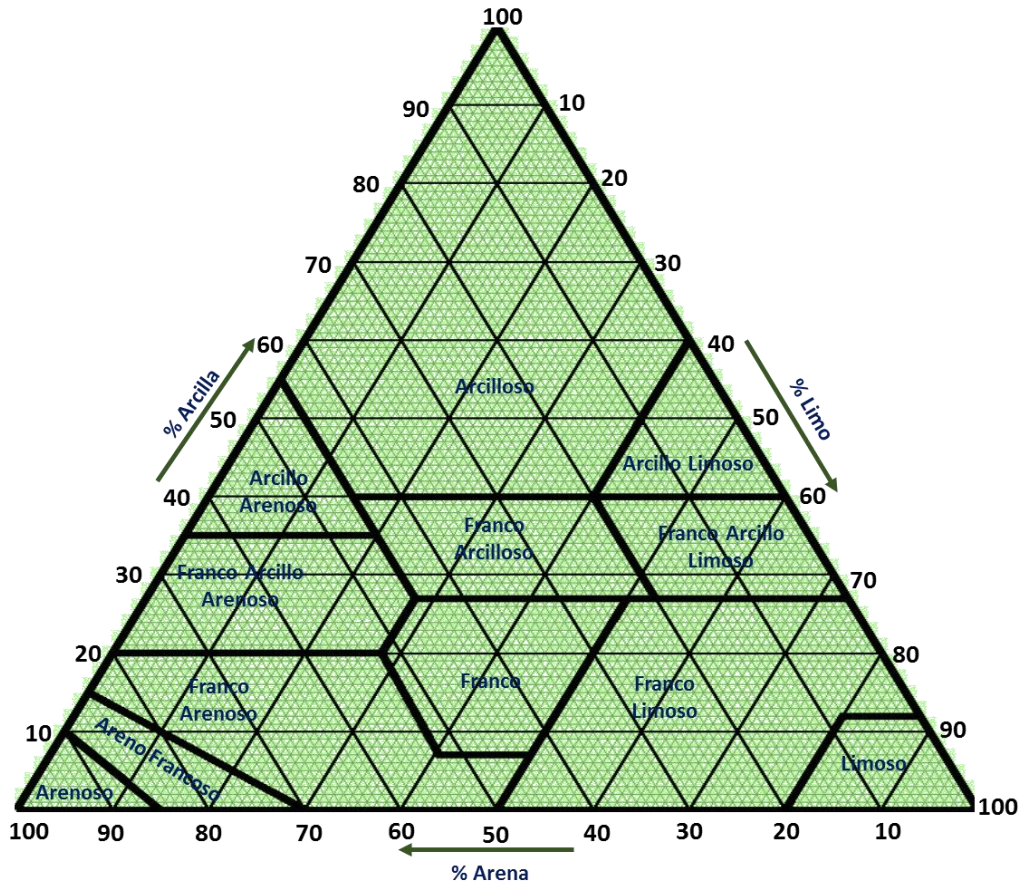


Figura 25. Triángulo de textura.
Fuente: Elaboración propia, con base en USDA (1999).

La Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, establece la determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos, que consiste en la estimación de los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en la fracción mineral del suelo. Los porcentajes se determinan mediante la separación de las partículas y se clasifican de acuerdo con su diámetro. El tiempo de lectura es de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm y de 2 horas para partículas de diámetro mayores de 0.002 mm.

La FAO¹⁵ describe diversos métodos para determinar la textura del suelo en campo. A continuación se describen los que se consideran más prácticos de realizar.

Las partículas constituyentes del suelo presentan las siguientes características al tacto:

Arcilla: se adhiere a los dedos, es pegajoso, moldeable, tiene una alta plasticidad y tiene una superficie brillante luego de apretar entre los dedos.

Limo: se adhiere a los dedos, no es pegajoso, es débilmente moldeable, tiene una superficie áspera y rasposa luego de apretarlo entre los dedos y una sensación harinosa (como el polvo del talco).

Arena: no se puede moldear, no se adhiere a los dedos y se siente muy granuloso.

Mediante la prueba de manipulación se puede determinar la textura del suelo, para lo cual se recomienda seguir los siguientes pasos en orden:

- a) Tome una muestra de suelo; mójela un poco en la mano hasta que sus partículas comiencen a unirse, pero sin que se adhiera a la mano.
- b) Amase la muestra de suelo hasta que forme una bola de unos 3 cm de diámetro.
- c) Deje caer la bola. Si se desmorona, es arena, en caso contrario, continúe con el paso d.
- d) Amase la bola en forma de un cilindro de 6 a 7 cm de longitud. Si no mantiene esa forma, es arenoso franco; si mantiene esa forma, prosiga con el paso e.
- e) Continúe amasando el cilindro hasta que alcance de 15 a 16 cm de longitud. Si no mantiene esa forma es franco arenoso; si mantiene esa forma, continúe con el paso f.
- f) Trate de doblar el cilindro hasta formar un semicírculo. Si no puede, es franco; si puede, prosiga con el paso g.
- g) Siga doblando el cilindro hasta formar un círculo cerrado, si no puede, es franco pesado; si puede, y se forman ligeras grietas en el cilindro, es arcilla ligera; si puede hacerlo sin que el cilindro se agriete, es arcilla.

Para conocer la proporción de arena, limo y arcilla se puede proceder de la siguiente manera:

- a) Coloque 5 cm de suelo en una botella y llénela de agua.
- b) Agítela bien y déjela reposar durante una hora. Transcurrido este tiempo, el agua estará transparente y observará que las partículas mayores se han sedimentado.

¹⁵ ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm

c) En el fondo hay una capa de arena; la capa del centro corresponde a limo y en la parte superior hay una capa de arcilla.

d) Mida la profundidad de la arena, el limo y la arcilla y calcule la proporción aproximada de cada uno.

6.3.7. Profundidad del suelo

La profundidad del suelo puede definirse como la profundidad de los materiales del suelo favorables para la penetración de las raíces de las plantas, por lo cual, la profundidad del suelo es un factor limitante para el desarrollo de las raíces, la disponibilidad de humedad y nutrientes para las plantas (FAO, 2000).

Cuanto más somero es un suelo, más limitado son los tipos de uso que puede tener y más limitada es la productividad del suelo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Productividad de los suelos en función de la profundidad

Profundidad de suelo utilizable por las raíces del cultivo (cm)	Productividad relativa (%)
30	35
60	60
90	75
120	85
150	95
180	100

Fuente: PPI *et al.* (1988).

La profundidad del suelo puede determinarse mediante una barrena helicoidal (Figura 26). Es recomendable tomar varias mediciones (dividir el predio en parte alta, media y baja) y promediar los valores obtenidos.



Figura 26. Barrena helicoidal para medir profundidad del suelo.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2012).

Los suelos pueden clasificarse en cuatro grupos con base en su profundidad efectiva (Cuadro 10).

Cuadro 10. Clasificación de la profundidad del suelo.

Clase	Profundidad (cm)
Muy somero	<30
Somero	30 - 60
Moderadamente profundo	60 – 100
Profundo	>100

Fuente: FAO¹⁶.

¹⁶ <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

6.3.8. Análisis de fragmentación del paisaje

La fragmentación de los ecosistemas es un proceso en el cual el ecosistema se subdivide en porciones más pequeñas y con formas más complejas. Las actividades humanas como la agricultura, la deforestación, la ganadería y la construcción de vías de comunicación han acelerado el proceso de fragmentación; proceso que conlleva cambios en la composición, estructura y función del ecosistema. La fragmentación trae como consecuencia la pérdida de biodiversidad (puede llegar a reducirla de un 13 % hasta 75 %), disminuye la persistencia de las especies, la retención de nutrientes y altera la dinámica trófica (Fischer y Lindenmayer, 2007; Haddad *et al.*, 2015).

La ecología del paisaje es una disciplina que se centra en explicar las interacciones recíprocas entre patrones espaciales y procesos ecológicos. Con base en el análisis de la fragmentación relacionando métricas de patrón espacial con los diferentes procesos ecológicos, se ha propiciado la aparición de un gran número de índices de paisaje que intentan explicar los efectos de la fragmentación (Turner *et al.*, 2001; Gergel *et al.*, 2002; Kupfer *et al.*, 2006).

La estimación e interpretación correcta de las métricas de paisaje pueden ser la base de diversos estudios ambientales, como el cambio de cobertura y uso de suelo, estudios de degradación y erosión de suelo, manejo de cuencas hidrográficas y proporciona información base para la planeación y el manejo del ambiente, entre otros (Fry *et al.*, 2009; Zaragoza *et al.*, 2012).

Existen números software que permiten calcular diversas métricas de patrón del paisaje. Conefor Sensinode 2.2 (CS22) es un programa mediante el cual es posible cuantificar la importancia de los parches de hábitat (nodos) y la conectividad del paisaje mediante grafos e índices de disponibilidad de hábitat. Valora la conectividad del paisaje desde un enfoque de conectividad estructural y funcional. CS22 se considera una herramienta para apoyar la toma de decisiones en la planificación del paisaje y la conservación del hábitat.

CS22 es de uso gratuito y se encuentra disponible en el siguiente link <http://www.conefor.org/>. Permite calcular nueve índices, los más recomendados son el índice integral de conectividad (IIC) y el de probabilidad de conectividad (PC) (Saura y Pascual-Hortal, 2007).

La fórmula que se utiliza para calcular el IIC es:

$$IIC = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{a_i * a_j}{1 + n_{ij}}}{A_L^2}$$

Donde:

IIC = Índice Integral de Conectividad

n = total de número nodos en el paisaje.

a_i y a_j = atributo de nodos i y j.

n_{ij} = número de eslabones de la ruta más corta (distancia topológica) entre parches i y j.

AL = máximo atributo del paisaje (es el valor del atributo que correspondería con un parche que cubre todo el paisaje con el mejor hábitat posible).

Los valores de este índice van de 0 a 1, su valor incrementa conforme existe mayor conectividad y por ende un menor grado de fragmentación.

CS22 puede ejecutarse desde QGIS o ArcGIS, para esto se requiere contar con datos de distancia entre nodos y el valor de los nodos de las coberturas terrestres consideradas como de mayor valor ecológico (generalmente hace referencia a la vegetación primaria), datos que pueden ser calculados con la herramienta "ID Within Distance Parameters (IDWD)"

IDWD permite calcular la distancia euclidiana entre nodos (parches) y el número de nodos en el paisaje; para esto, se requiere contar con el archivo vectorial de la cobertura vegetal de interés y la superficie en hectáreas de los diferentes parches que lo conforman. De igual forma se debe definir un umbral de búsqueda (este umbral indica qué parches se consideran como desconectados en función de la distancia definida), para establecer el umbral es necesario considerar aspectos particulares de la especie bajo estudio, como por ejemplo: la distancia a la cual la semilla puede ser dispersada, los medios de dispersión (viento, agua, animales), cantidad de semilla viable producida por árbol, número de semillas necesarias para producir una plántula establecida, probabilidad de supervivencia de los arboles semilleros y la disponibilidad de micrositios adecuados para su establecimiento (Musálem y Fierros, 1996; Price *et al.*, 2001).

IDWD genera dos archivos en formato *.TXT: el archivo de distancia entre nodos y el archivo que contiene el valor de atributo para cada nodo (Figura 27).

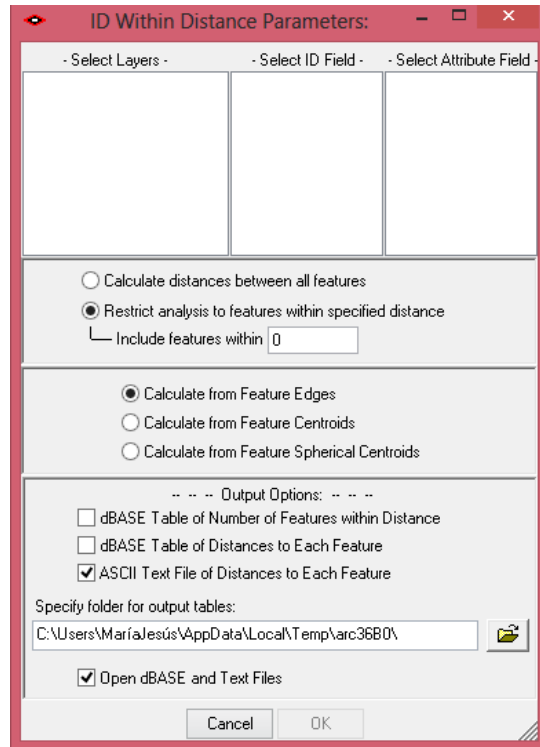


Figura 27. Ventana principal de la herramienta ID Within Distance Parameters.
Fuente: Elaboración propia, con base en el software Conefor Sensinode 2.2.

Al ejecutar CS22 se muestra la pantalla principal del programa (Figura 28), en la cual deben cargarse los archivos que fueron generados con IDWD, se deben elegir los índices que se desee calcular e indicar el valor de umbral de búsqueda (debe ser la misma distancia definida para IDWD).

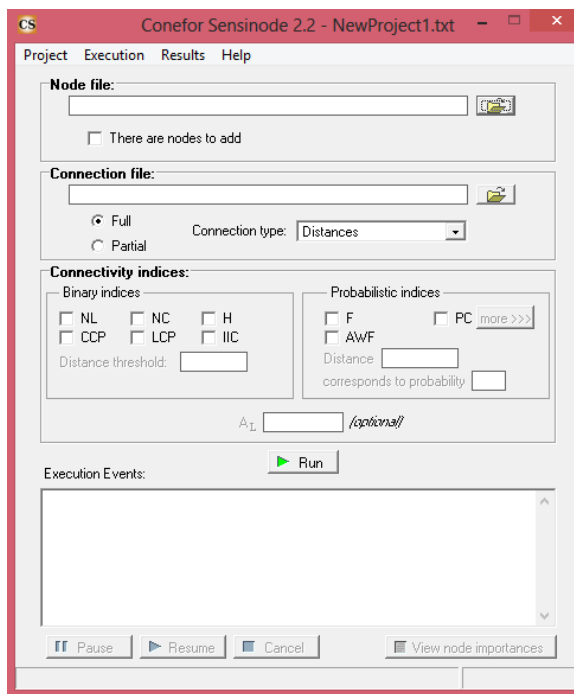


Figura 28. Ventana principal del software Conefor Sensinode 2.2.
Fuente: Elaboración propia con, base en el software Conefor Sensinode 2.2.

Los resultados del análisis de CS22 se pueden guardar en formato *.TXT o *.DBF, lo cual facilita su manipulación en diversos software como base de datos, hojas de cálculo o SIG. Uno de los resultados más significativos que proporciona CS22 es el de importancia de nodos, ya que asigna un valor a cada nodo en función del grado para mantener la conectividad dentro del paisaje; se calcula en porcentaje y se estima mediante la siguiente fórmula.

$$dIIC (\%) = 100 * \frac{I - I \text{ removido}}{I}$$

Donde:

dIIC = importancia de nodos calculado mediante el Índice Integral de Conectividad.

I = es el valor del índice global cuando todos los nodos existentes inicialmente están presente en el paisaje.

I removido = es el valor del índice general después de la eliminación de un nodo único del paisaje.

Los valores de importancia son muy útiles para la toma de decisiones en la planificación de la conservación del paisaje, ya que permiten la identificación de los nodos más críticos (por ejemplo parches de hábitat o células) para el mantenimiento o mejora de la conectividad del paisaje, en el que los esfuerzos de conservación o restauración deben concentrarse.

6.4. Distribución potencial de las especies

Los estudios de distribución potencial de especies vegetales generalmente se basan en los requerimientos biofísicos de la especie (Hernández-Martínez *et al.*, 2007; Leal-Nares *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2014). En el caso de la restauración forestal, estos estudios deben ser considerados como una primera aproximación ya que es recomendable tener en cuenta otros criterios, como por ejemplo, el uso de especies nativas, especies que ayuden en la recuperación de zonas degradadas y los usos potenciales de la especie. El Cuadro 11 muestra ejemplos de los principales parámetros que pueden ser considerados para definir la distribución potencial de especies a emplear en la restauración forestal.

Cuadro 11. Parámetros para definir la distribución potencial de especies a utilizar en la restauración forestal.

Biofísicos	Usos	Requerimientos nutricionales
Temperatura media anual	Uso medicinal	Especies resistentes a suelos erosionados.
Precipitación media anual	Uso Comestible	Especie tolerante a sequía.
Tipo de suelo	Uso recreativo	Especie con bajos requerimiento de materia orgánica.
Tipo de clima	Uso como leña o carbón	Especies con bajos requerimientos de nutrientes.
Altitud	Uso para celulosa	
Tipo de vegetación	Uso como madera de aserrío	
Fragmentación del paisaje	Uso en la industria del cosmético y perfumería	
Porcentajes de cobertura arbórea	Uso ornamental	
Pendiente promedio		
Exposición		

Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada.

Otro aspecto importante a considerar en el momento de realizar estudios de distribución potencial de especies es la escala cartográfica a la cual se desea trabajar (Cuadro 12)

Cuadro 12. Clasificación de los niveles de representación cartográfica del terreno.

Nivel de representación	Descripción	Escala cartográfica
Nivel regional	Correspondiente a las regiones extensas del territorio que incluyen, tanto áreas de producción como áreas protegidas o regiones prioritarias para la conservación. Para esta escala de representación pueden utilizarse datos cartográficos del INEGI.	1:250 000
Nivel de cuenca	Corresponde a decenas de miles de hectáreas, conjuntos prediales o áreas protegidas. En la mayoría de los casos para poder trabajar a esta escala se requiere generar información vectorial base, una opción viable es realizarlas mediante información derivada de imágenes de satélite, por ejemplo imágenes Landsat; imágenes de distribución gratuita y con resolución espacial de 30 metros.	1:50 000
Nivel predial	Correspondiente a superficies menores a 20,000 ha. Una opción para generar información a esta escala es trabajar con imágenes de satélite Rapideye, Landsat o Spot con resolución espacial que van desde los 5 a 15 metros. En este caso, la caracterización 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 y sus componentes en el terreno integrando la información en cuadros, gráficos y textos descriptivos y mapas generados mediante interpolación de datos puntuales.	1:10 000 a 1:25 000.

Fuente: Adaptado de Jardel (2015).

Con base en lo anterior, para poder incluir datos de cobertura de copa, exposición, pendiente y condiciones particulares de nutrientes se requiere contar con información puntual de la especie (escala 1:1). Las variables relacionadas con los diversos usos que la población da a la especie pueden obtenerse mediante entrevistas o en talleres participativos efectuados con personas clave. Esta información puede obtenerse a nivel subregión.

A continuación se detallan los pasos a seguir para generar el mapa de distribución potencial de las especies de interés. A manera de ejemplo, se presenta la distribución potencial de *Abies religiosa* y *Pinus pseudostrobus*, y se desea evaluar la viabilidad de utilizar estas especies para restaurar áreas degradadas dentro de la zona delimitada por la Región Terrestre Prioritaria Sierra de Chincua.

1. Inicialmente, es necesario contar con los datos de requerimientos ecológicos e información complementaria como los usos potenciales de la especie (Cuadro 13). Estos datos servirán como variables restrictivas a la distribución de la misma.

Cuadro 13. Caracterización ecológica de *Abies religiosa* y *Pinus pseudostrabus*.

Características de la especie	Descripción	
	<i>Abies religiosa</i>	<i>Pinus pseudostrabus</i>
Origen	Nativo de México	Nativo de México, Guatemala y Honduras
Altitud mínima (msnm)	2800	1600
Altitud Máxima (msnm)	3500	3200
Temperatura mínima (°C)	7	-9
Temperatura máxima (°C)	15	40
Precipitación mínima (mm)	900	500
Precipitación máxima (mm)	2000	2500
Grupo climático	Templado	Templado
Tipo de suelo	Histosol, Inceptisol, Espodosol.	Andosol
Profundidad del suelo	Suelos someros a profundos	Suelos profundos
Textura	Limo-arenoso, arcillo-arenoso, arenoso	Migajón-arenoso, areno-arcilloso
Materia Orgánica	Muy rico (hasta 70 %)	Moderado a rico
Asociación Vegetal	Bosque de coníferas	Bosque de coníferas, bosque de Pino-Quercus
Usos	Se usa como árbol de navidad, celulosa, se usa en la construcción de empaques de alimento y tiene uso medicinal.	Madera de aserrío, artesanías, ebanistería, celulosa, resina, ornamental.

Fuente: Elaboración propia, con base en las fichas técnicas elaboradas por el Sistema de Información para la Reforestación¹⁷.

2. Mapa de altitud. Para generar el mapa de altitud se utilizó como base el Modelo Digital de Elevación (MDE) de 15 metros de resolución¹⁸. Mediante la herramienta “Reclassify” del software ArcGIS 10.3® se reclasificó el MDE del área de estudio creando rangos de altura a cada 100 metros (Figura 29).

¹⁷ <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/usuarios/fichas-sire>

¹⁸ <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>

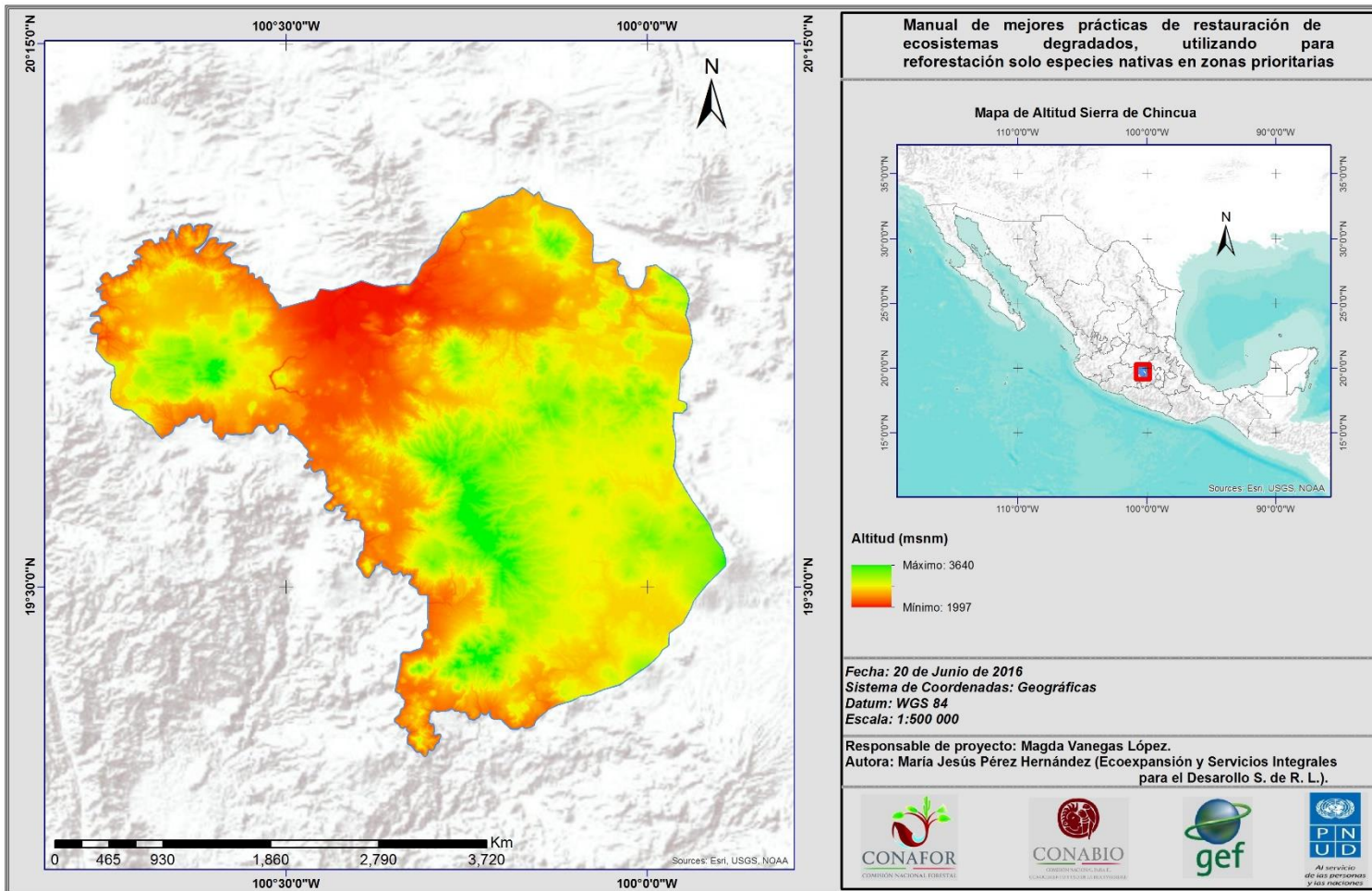


Figura 29. Mapa de altitudes de la RTP Sierra de Chincua.

Como se puede apreciar en el área de estudio el rango altitudinal va de 2 000 a 3 700 msnm, mientras que la distribución de *Abies religiosa* está restringida a altitudes que van de 2 800 a 3 500 msnm y para *Pinus pseudostrabus*, de 1 600 a 3 200 msnm.

3. Mapa de isotermas: Para generar el mapa de temperaturas se utilizó el método descrito por Fries *et al.* (2012) considerando el gradiente altitudinal, para lo cual fue necesario contar con datos de localización de las estaciones meteorológicas, altitud a la cual se encuentran y los registros de temperatura media. Para este ejemplo se obtuvieron datos de 27 estaciones meteorológicas¹⁹.

Con el propósito de estimar el gradiente altitudinal (r), se graficaron los datos de altitud a la que se encuentran la estaciones y los valores reportados de temperatura media anual, la gráfica resultante se presenta en la Figura 30.

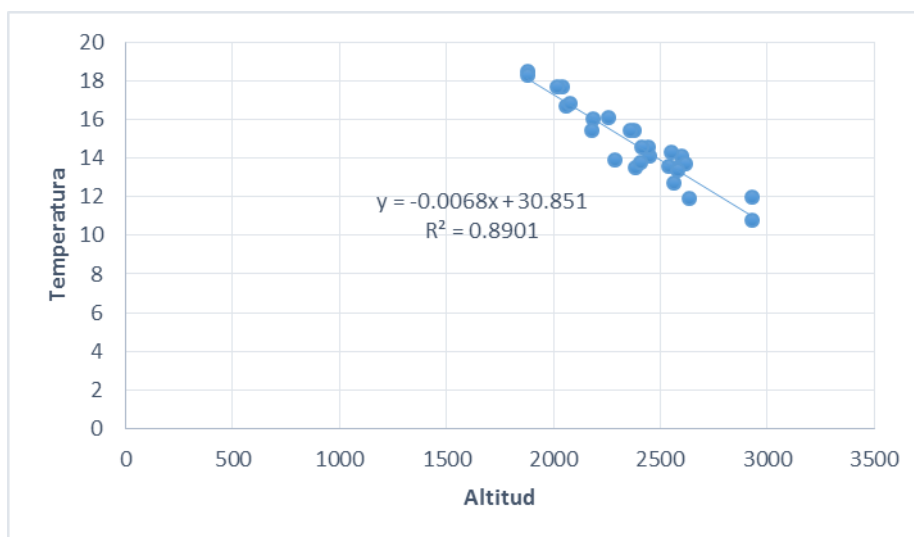


Figura 30. Gráfica de la relación altitud-temperatura.

Fuente: Elaboración propia, con base en información de 27 estaciones meteorológicas.

El valor de r para este caso es de -0.0068 y la altura establecida (Z_{det}) fue de cero. Con estos datos y mediante la fórmula que se muestra a continuación se calculó la temperatura de las 27 estaciones a una altura de 0 msnm (T_{det}); cuyos resultados se indican en la Figura 31.

$$T_{det} = (Temperatura\ media + ((r) * (Z_{det} - Altitud\ estación)))$$

¹⁹ http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75

	A	B	C	D	E	G	I	J
1	Clave estación	Lat	Long	Altitud estación	Temperatura Media	Tdet	Zdet	r
2	15066	19.5075	-100.09778	2635	11.9	29.818	0	-0.0068
3	15070	19.7691667	-100.14028	2929	10.8	30.7172		
4	15076	19.6625	-99.957778	2564	12.7	30.1352		
5	15104	19.855	-99.967778	2450	14.1	30.76		
6	15117	19.9197222	-100.01222	2377	15.4	31.5636		
7	15128	19.8119444	-100.08139	2601	14.1	31.7868		
8	15133	19.4572222	-99.991944	2577	13.5	31.0236		
9	15199	19.5561111	-99.9475	2927	12	31.9036		
10	15243	19.9130556	-100.07778	2444	14.6	31.2192		
11	15245	19.7961111	-99.995	2620	13.7	31.516		
12	15265	19.3894444	-100.07583	2541	13.6	30.8788		
13	15322	19.3088889	-100.15111	2183	16	30.8444		
14	15378	19.3702778	-100.15694	2383	13.5	29.7044		
15	15391	19.4561111	-100.06944	2580	13.4	30.944		
16	16020	19.6916667	-100.55361	2060	16.7	30.708		
17	16033	19.7725	-100.28833	2415	14.6	31.022		
18	16061	19.8163889	-100.41556	2080	16.8	30.944		
19	16111	19.9075	-100.31917	2043	17.7	31.5924		
20	16121	19.7327778	-100.35222	2260	16.1	31.468		
21	16124	20.0508333	-100.14944	2409	13.8	30.1812		
22	16129	19.9966667	-100.23028	2358	15.4	31.4344		
23	16145	19.8586111	-100.82722	1880	18.5	31.284		
24	16199	19.9894444	-100.58917	2020	17.7	31.436		
25	16213	19.6991667	-100.47833	2180	15.4	30.224		
26	16235	19.6791667	-100.74167	2285	13.9	29.438		

Figura 31. Datos para homogeneizar la temperatura a cero msnm (Tdet).

Fuente: Elaboración propia, con base en información de 27 estaciones meteorológicas.

Los datos de la tabla que se presenta en la Figura 31 se pasaron a formato *.CSV para poder ser leídos por el software ArcGIS 10.3®. Los valores de Tdet fueron interpolados utilizando el método de Kriging, con el cual se obtuvo el mapa de la Figura 32.

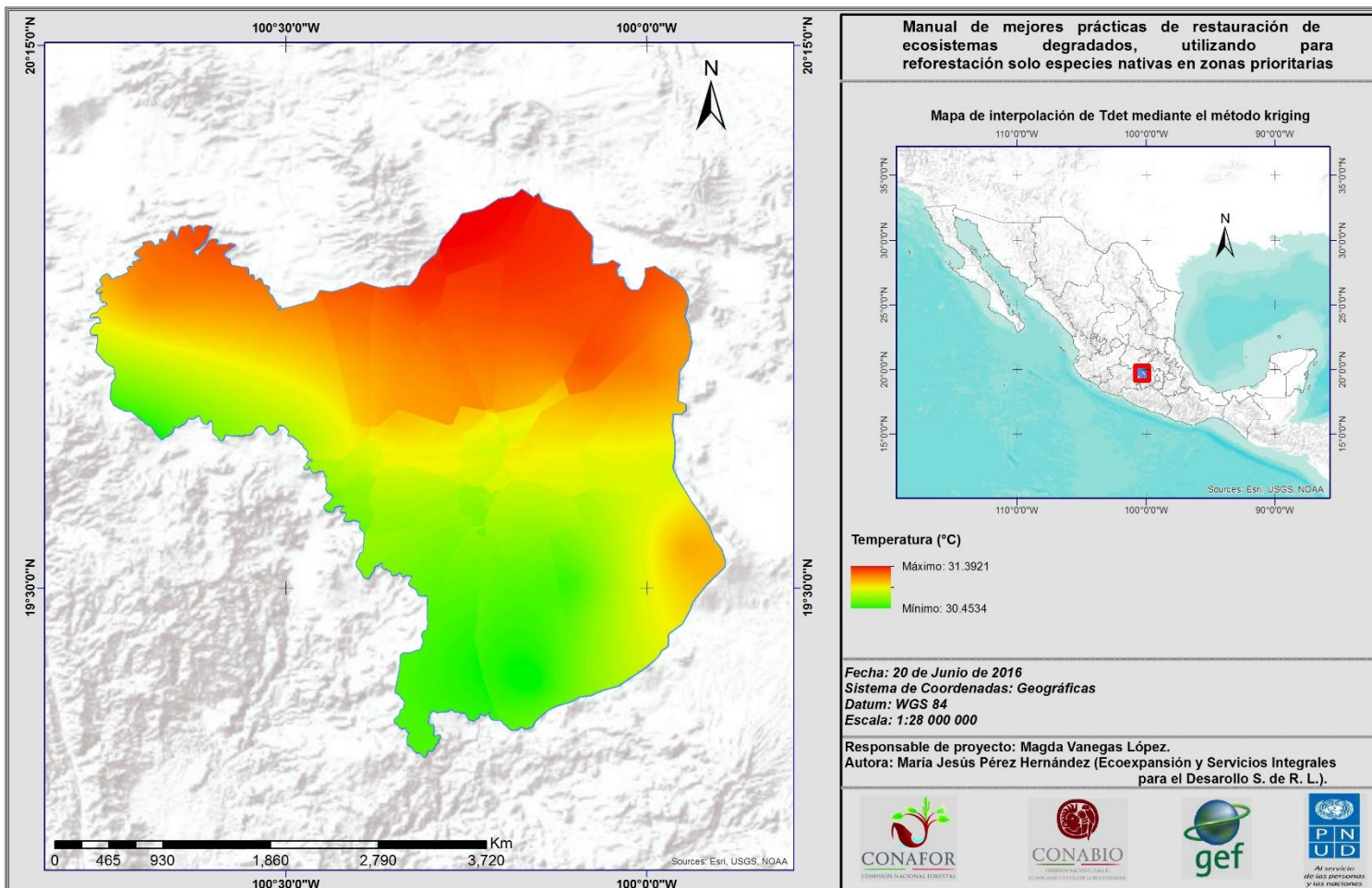


Figura 32. Resultado de la interpolación de Tdet mediante el método Kriging.

Mediante la herramienta “Raster Calculator” de ArcGIS 10.3® se aplicó la siguiente fórmula al mapa resultante de la interpolación de Tdet.

$$\textit{Temperatura} = (Tdet + (r * (Z_{MDE} - Zdet)))$$

Z_{MDE} hace referencia al modelo de elevación digital del área de estudio. Como producto de aplicar la fórmula anterior, se obtuvo el mapa de temperaturas de la RTP Sierra de Chincua (Figura 33).

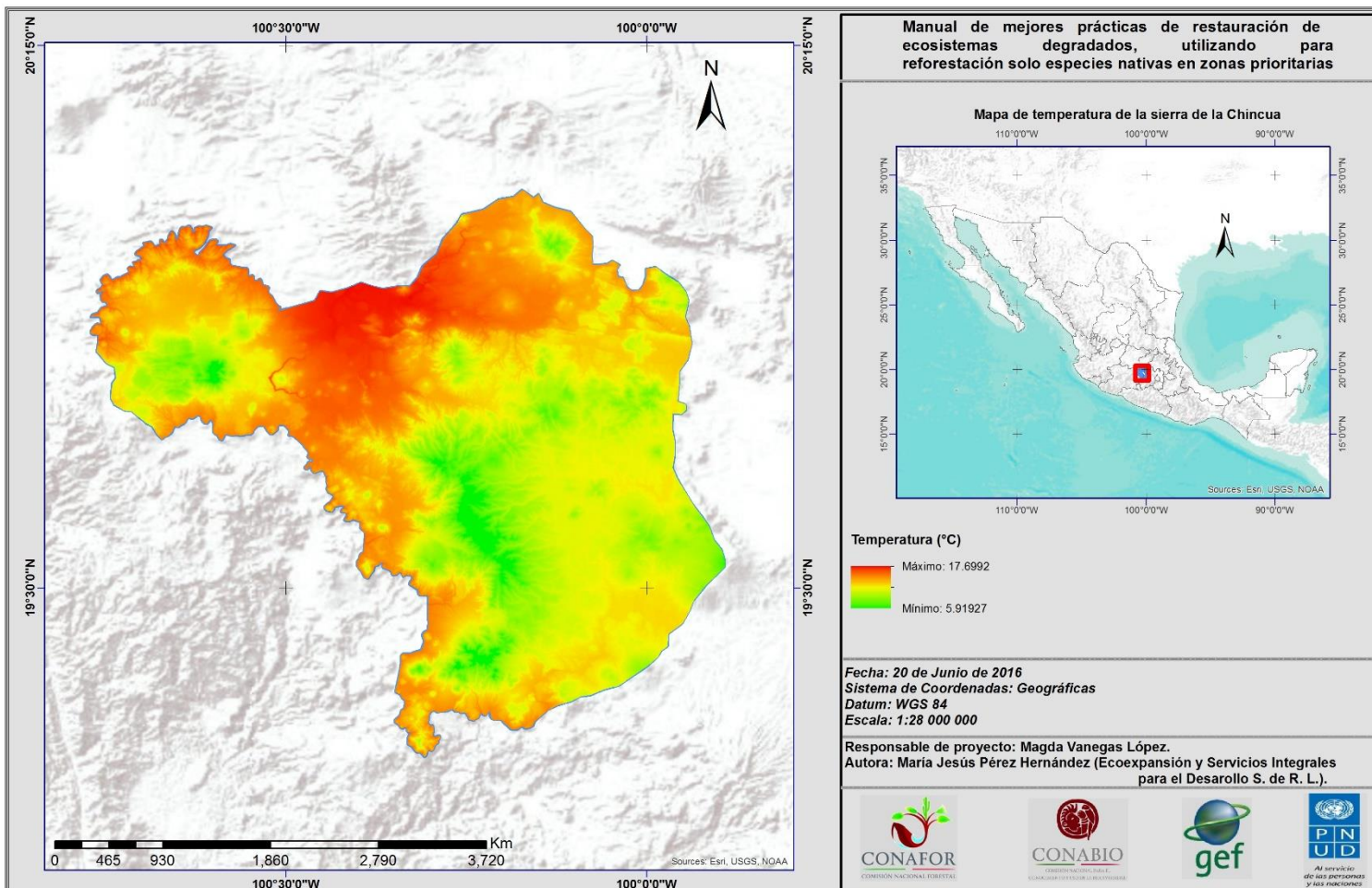


Figura 33. Mapa de temperaturas de la Sierra de Chincua.

Los resultados muestran que en el área de estudio se tiene una temperatura mínima de 5.9 °C y máxima de 17.6 °C. Las temperaturas óptimas para *Abies religiosa* van de 7 a 15 °C y -9 a 40 °C para *Pinus pseudostrobus*.

4. Para generar el mapa de precipitación fue necesario contar con una capa *Shapefile* de puntos de las estaciones meteorológicas del área de estudio y los registros de precipitación total anual. Utilizando la herramienta interpolación y empleando el método Kriging de ArcGIS se generó el mapa de precipitación de la Sierra de Chincua (Figura 34).

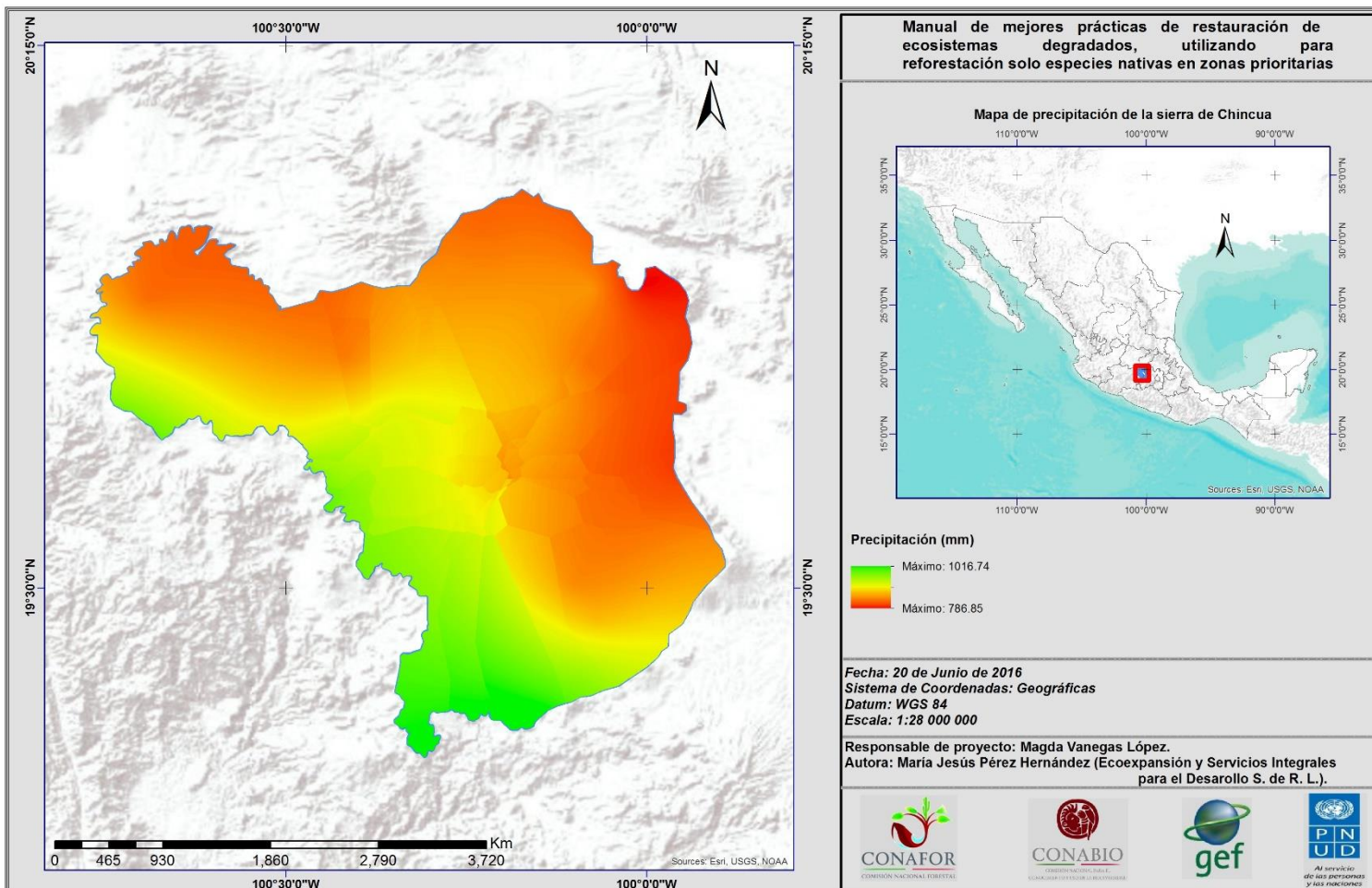


Figura 34. Mapa de precipitación de la RTP Sierra de Chincua.

Las precipitaciones en la Sierra de Chincua van de 786 a 1 016 mm. *Abies religiosa* puede establecerse en sitios con precipitaciones anuales de 900 a 2 000 mm y *Pinus pseudostrobus* de 500 a 2500.

5. Para el mapa edafológico del área de estudio se utilizó el conjunto de datos vectoriales edafológicos del INEGI serie II escala 1:250 000²⁰ (Figura 35).

²⁰ http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/vectorial_seriei.aspx

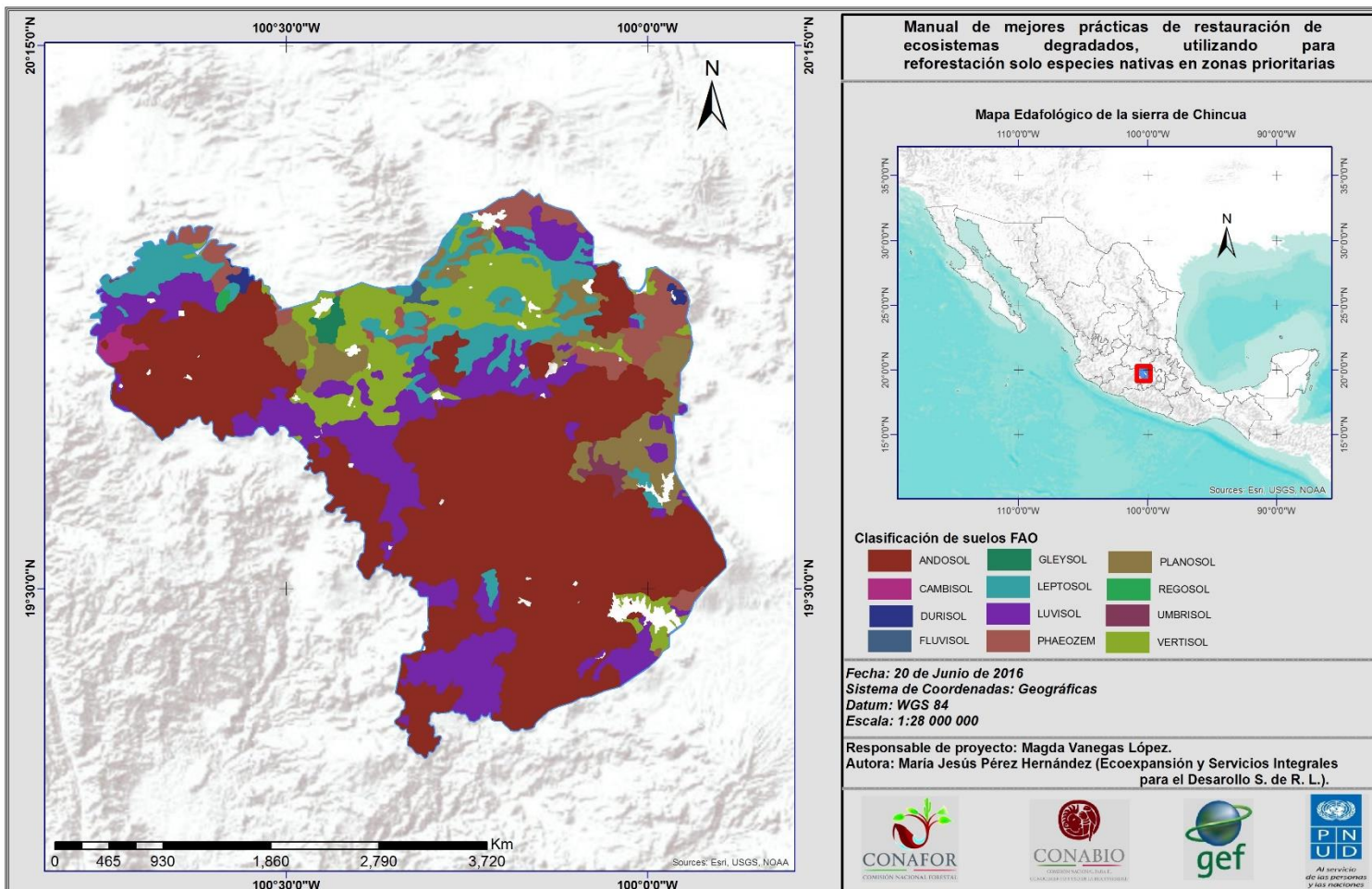


Figura 35. Mapa edafológico de la RTP Sierra de Chincua (las superficies en blanco corresponden principalmente a usos urbanos).

Se aprecia que en la superficie de la Sierra de Chincua se distribuyen 12 tipos de suelos diferentes (clasificación FAO): los suelos andosoles son los de mayor predominancia, seguidos de luvisoles y vertisoles. Los suelos cambisol e histosol son los que favorecen en mayor grado el establecimiento de *Abies religiosa* y los suelos andosoles reúnen mejores características para el establecimiento de *Pinus pseudostrabus*.

6. El mapa de las unidades climáticas se obtuvo de la cartografía digital del INEGI²¹ a una escala de 1:1 000 000 (Figura 36).

²¹ <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825267568>

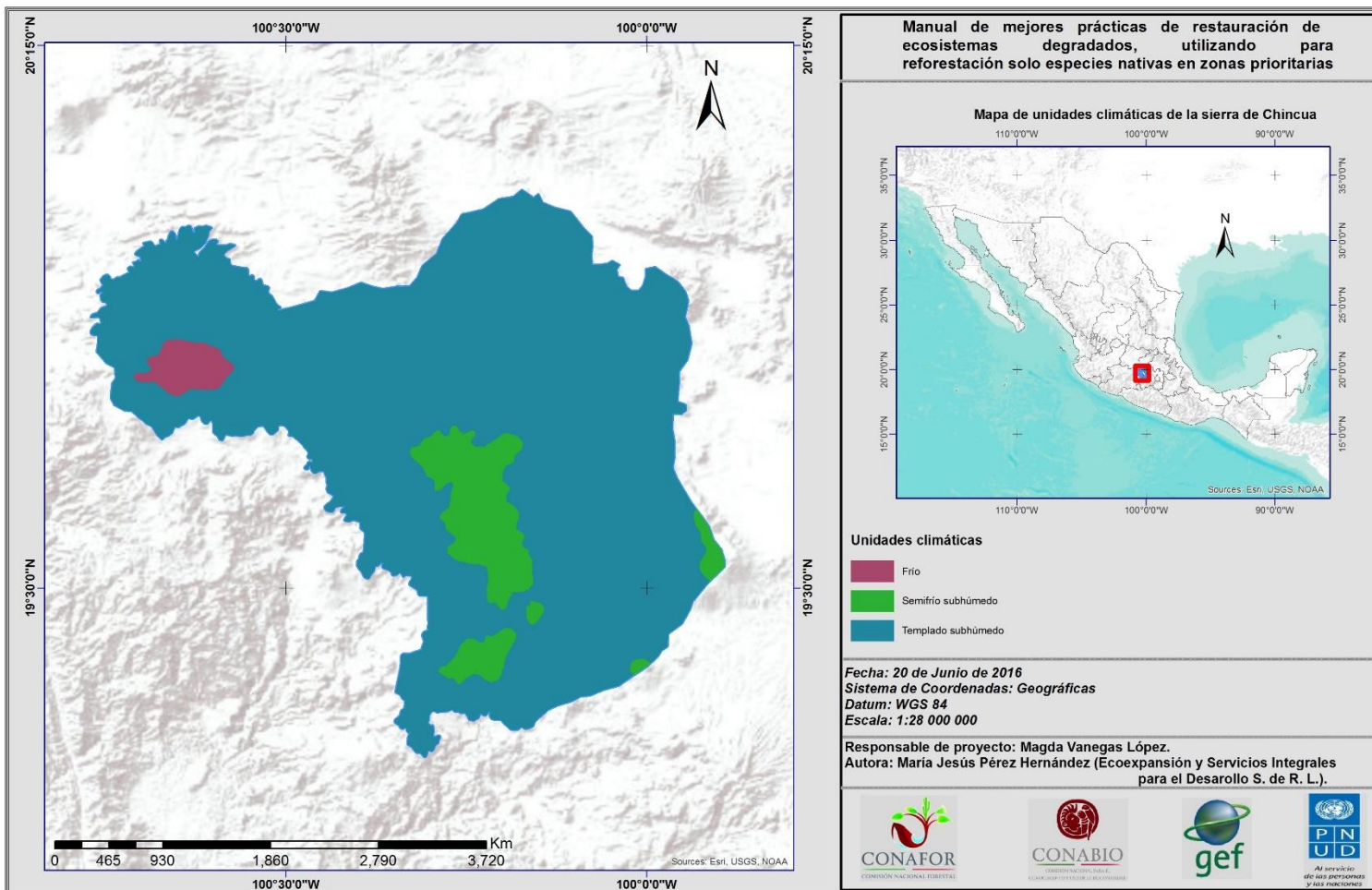


Figura 36. Mapa de unidades climáticas de la RTP Sierra de Chincua.

Todas las unidades climáticas presentes en el área de estudio pueden clasificarse como zonas de clima templado y aptas para el establecimiento de *Abies religiosa* y *Pinus pseudostrobus*.

7. Para conocer los usos de suelo y vegetación presentes en el área de estudio, se utilizaron los datos vectoriales de uso de suelo y vegetación serie V del INEGI²² a una escala de 1:250 000 (Figura 37).

²² <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/Default.aspx>

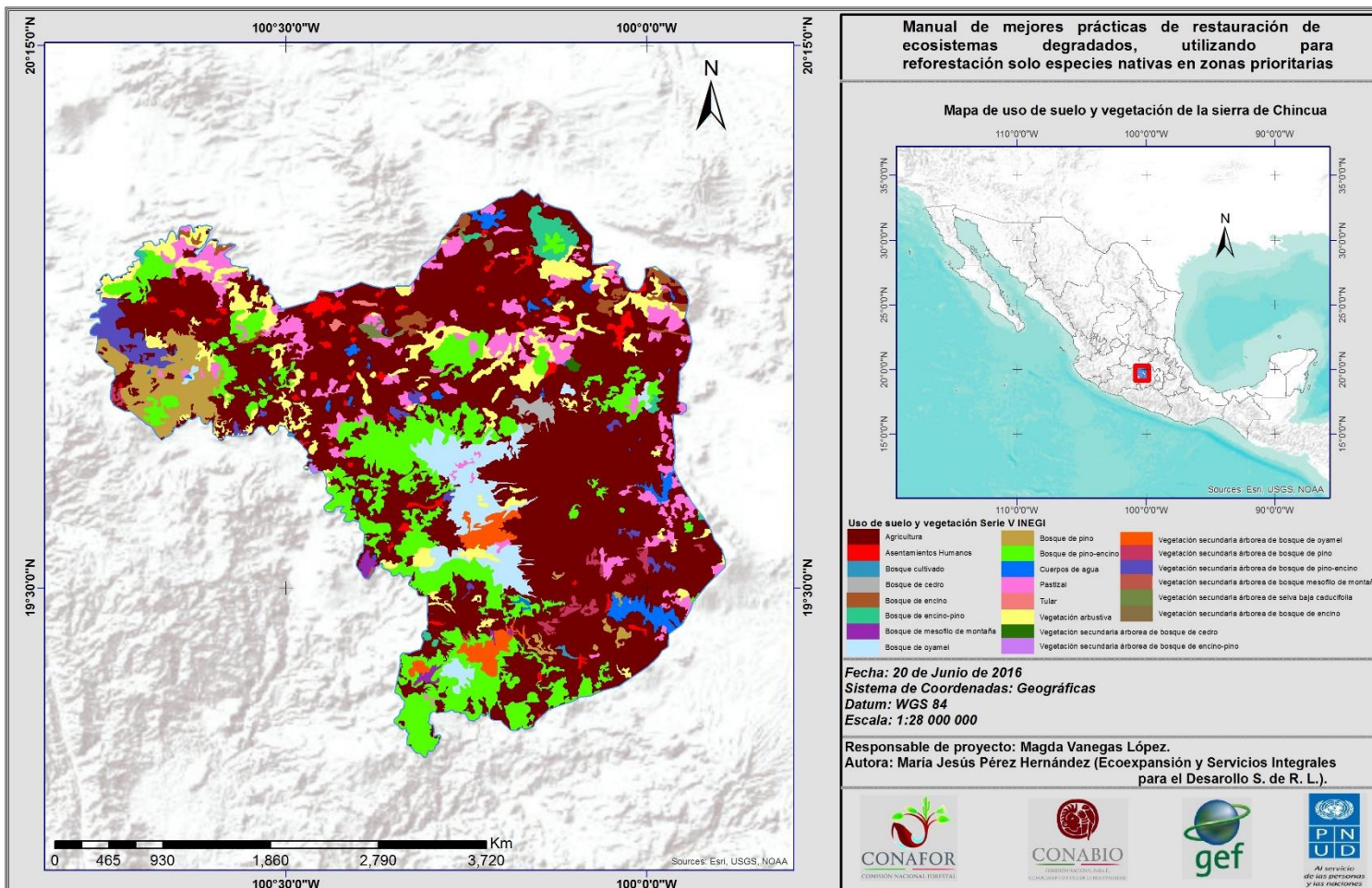


Figura 37. Uso de suelo y vegetación de la RTP Sierra de Chincua.

La mayor parte del área de estudio corresponde a un uso agrícola, seguido de bosque de pino-encino y vegetación arbustiva. Las superficies más pequeñas están ocupadas por vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino y vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña. Las asociaciones vegetales que favorecen el establecimiento de *Abies religiosa* y *Pinus pseudostrobus* son los bosques de coníferas y bosque de pino-encino principalmente.

8. Índice de fragmentación. Un análisis de fragmentación del paisaje debe partir de un objetivo de estudio claro, ya que esto condiciona la selección de las coberturas de la tierra que se consideren de mayor valor ecológico así como los tamaños de bordes y distancia de dispersión. Este valor permite definir la distancia mínima a partir de la cual la cobertura se considera como fragmentada.

Para estimar el grado de fragmentación de la RTP Sierra de Chincua se utilizó el software CS22, mediante el cual se calculó el Índice Integral de Conectividad (IIC).

Para definir el umbral de búsqueda, se consultó literatura donde se exponen las distancias de dispersión de polen y semilla de *Abies religiosa* (Cuadro 14). Dado que existe información limitada para la mayoría de las especies y tomando como referencia la información de dicho Cuadro, se propone utilizar una distancia discreta de 500 metros.

Cuadro 14. Distancia de dispersión de polen y semilla para diferentes especies.

Especie	Distancia de dispersión (m)	Referencia
<i>Picea glauca</i>	< 3000	Lamontagne y Boutin, 2007.
<i>Pino pinaster</i>	175	De Lucas, 2011.
<i>Pinus flexilis</i>	140	Schuster and Mitton, 2000.
<i>Abies religiosa</i>	100	Muñoz <i>et al.</i> , 2012.
<i>Quercus lobata</i>	114.1	Plues <i>et al.</i> , 2009.
<i>Pithecellobium elegans</i>	142	Chase <i>et al.</i> , 1996.

Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada.

Considerando que *Abies religiosa* y *Pinus pseudostrobus* son especies que tiene una fuerte asociación con vegetación de coníferas, se determinó que las coberturas que propiciarían condiciones favorables para que estas especies prosperen son: bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino, por lo cual el análisis de fragmentación se enfocó a estas coberturas.

Al calcular los valores de importancia de nodo mediante el índice integral de conectividad (dIIC) para el área de estudio se obtuvieron valores de 0 a 88.32. En donde valores cercanos a cero indican alto grado de fragmentación y cercanos a 100 bajo grado de fragmentación.

Los resultados muestran que en la zona de estudio sólo se observan dos niveles de fragmentación: alto y bajo: el nivel alto se localiza en la región Norte y Noreste (esto se debe principalmente a la agricultura) mientras que en la región Este y Sur se encuentran las áreas más conservadas (Figura 38).

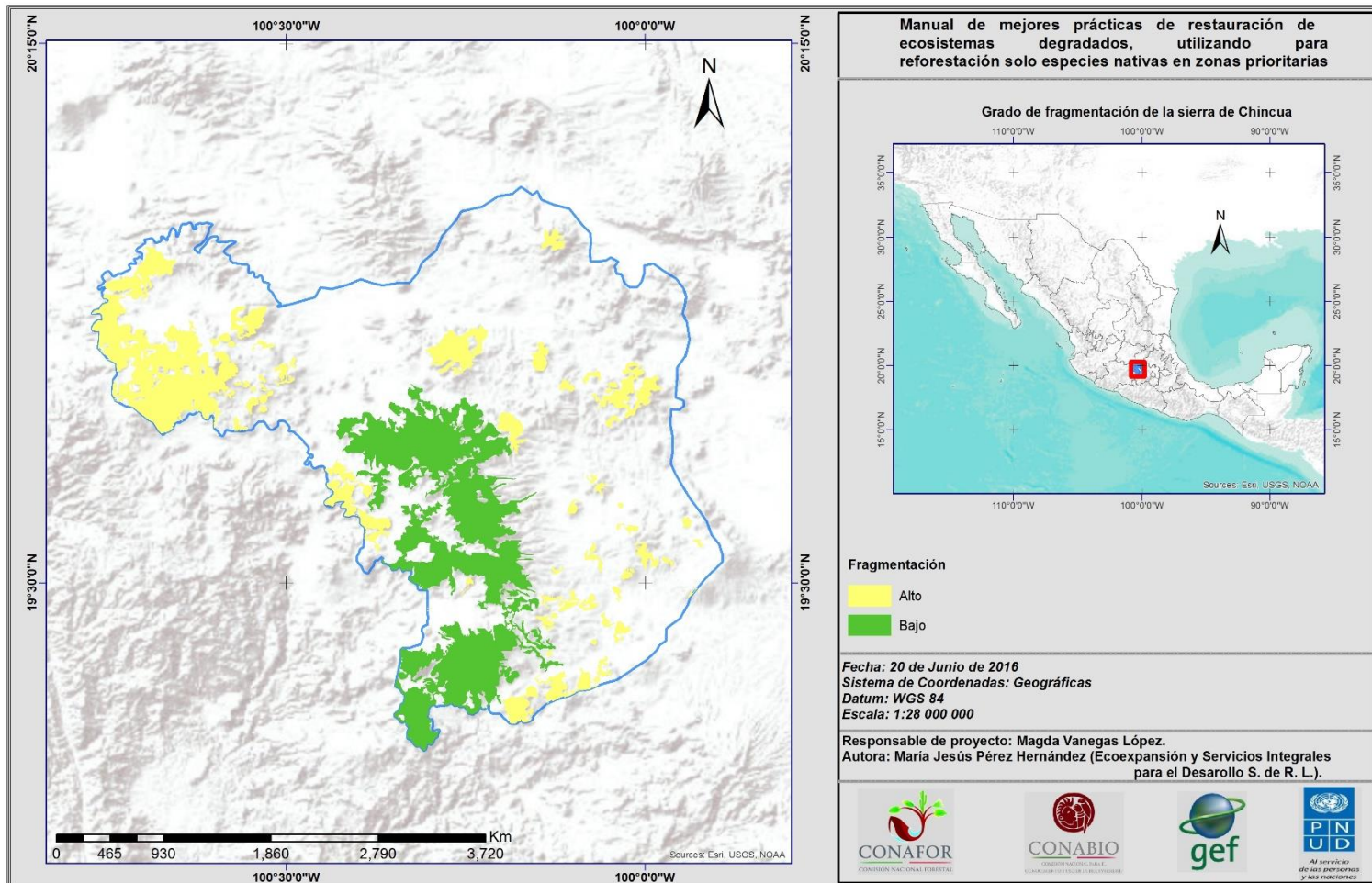


Figura 38. Grado de fragmentación de la RTP Sierra de Chincua (en blanco, áreas sin presencia de coníferas donde no se calcula el índice de fragmentación).

Con los resultados obtenidos se pueden vislumbrar dos formas de recuperación de las áreas degradadas: en donde se presenta bajo grado de fragmentación es factible aplicar técnicas de restauración pasiva como: cercado, restringir los usos agrícola y pecuario y el manejo del fuego. Por otra parte, en las áreas con alto grado de fragmentación es conveniente aplicar técnicas que aceleren el proceso de restauración como: la reforestación en áreas agrícolas y pecuarias abandonadas y en los claros al interior de los parches de la vegetación nativa.

9. Los archivos vectoriales de las siete variables fueron transformadas a formato ráster, se reclasificaron en función de los requerimientos de cada una de las especies, conservando dos categorías; apto (2) y no apto (1) (Cuadro 15 y Cuadro 16).

Cuadro 15. Categorización de las variables utilizadas para *Abies religiosa*.

Variable	Apto (2)	No apto (1)
Altitud	2 800 - 3 500 msnm	2 000 - 2 700, 3 600 - 3 700
Temperatura	7 – 15	5.9 - 6.99, 15.1 - 17.69
Precipitación	900 – 2000	786.85 – 899
Edafología	Cambisol	Andosol, Durisol, Fluvisol, Gleysol, Leptosol, Luvisol, Phaeozem, Planosol, Regosol, Umbrisol, Vertisol
Clima	Frío, Semifrío subhúmedo, Templado subhúmedo	
Uso de suelo y vegetación ²³	Bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino, vegetación secundaria de bosque de oyamel, vegetación secundaria de bosque de pino, vegetación secundaria de bosque de pino-encino	Agricultura, asentamientos humanos, bosque cultivado, bosque de cedro, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque mesófilo de montaña, cuerpos de agua, pastizal, tular, vegetación arbustiva, vegetación secundaria arbórea de bosque de cedro, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia.
Índice de fragmentación	Alto	Bajo
Áreas elegibles CONAFOR	Zonas para la aplicación de los apoyos de acuerdo con criterios técnicos y sociales, los criterios principales son: -Terrenos forestales con degradación ligera y moderada. -Terrenos forestales de productividad baja con cobertura de copa al 49%. -Terrenos preferentemente forestales.	

Fuente: Elaboración propia, con base en las fichas técnicas elaboradas por el Sistema de Información para la Reforestación²⁴.

²³ Los usos de suelo y vegetación solo se tomaron como base para calcular el índice de fragmentación y no como una variable.

Cuadro 16. Categorización de las variables utilizadas para *Pinus pseudostrabus*.

Variable	Apto (2)	No apto (1)
Altitud	1 600 - 3 200 msnm	3 300 – 3 700
Temperatura	-9 – 40	
Precipitación	500 - 2500	
Edafología	Andosol	Cambisol, Durisol, Fluvisol, Gleysol, Leptosol, Luvisol, Phaeozem, Planosol, Regosol, Umbrisol, Vertisol
Clima	Frío, Semifrío subhúmedo, Templado subhúmedo	
Uso de suelo y vegetación ¹⁹	Bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino, vegetación secundaria de bosque de oyamel, vegetación secundaria de bosque de pino, vegetación secundaria de bosque de pino-encino	Agricultura, asentamientos humanos, bosque cultivado, bosque de cedro, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque mesófilo de montaña, cuerpos de agua, pastizal, tular, vegetación arbustiva, vegetación secundaria arbórea de bosque de cedro, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino, vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia.
Índice de fragmentación	Alto	Bajo
Áreas elegibles CONAFOR	Zonas para la aplicación de los apoyos de acuerdo con criterios técnicos y sociales. Los criterios principales son: -Terrenos forestales con degradación ligera y moderada. -Terrenos forestales de productividad baja con cobertura de copa al 49%. -Terrenos preferentemente forestales.	

Fuente: Elaboración propia, con base en las fichas técnicas elaboradas por el Sistema de Información para la Reforestación²⁵.

Mediante la herramienta “Raster Calculator” de ArcGIS se realizó la multiplicación de las seis variables. El nivel de aptitud se definió en función del número de variables que cumplieran con las condiciones requeridas para las especies (Cuadro 17).

²⁴ <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/usuarios/fichas-sire>

²⁵ <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/usuarios/fichas-sire>

Cuadro 17. Nivel de aptitud en función del número de variables que satisfacen los requerimientos ecológicos de *Abies religiosa* y *Pinus pseudostrobus*.

Número de variables	Nivel de aptitud
0	No apto
1	No apto
2	No apto
3	No apto
4	Moderado
5	Moderado
6	Alto
7	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Si se cuenta con datos puntuales (cobertura de copa, características de fertilidad de suelo, exposición, pendiente, etc.) éstos pueden ser incluidos mediante procesos geoespaciales que permitan generar la representación cartográfica de dichas variables. ArcGIS a través de las herramientas “Slope”, “Aspect” y el MDE permite generar información de pendiente y exposición del terreno.

El resultado final de las siete variables analizadas muestra que para *Pinus pseudostrobus* se tienen 71 836.76 ha con aptitud alta, 23 974.30 ha presentan aptitud moderada y 319 715.53 ha se encuentran en la categoría de no aptas. Para *Abies religiosa*, 2 887.61 ha se consideran con aptitud alta, 87 432.08 ha moderada y 325 206.90 ha son tierras no aptas para su establecimiento.

De las dos especies analizadas, *P. pseudostrobus* presenta mayor aptitud para establecerse en la RTP Sierra de Chincua, ya que se obtuvo una mayor superficie en la categoría de aptitud alta y menor superficie en la categoría de no apto (Figura 39 y Figura 40).

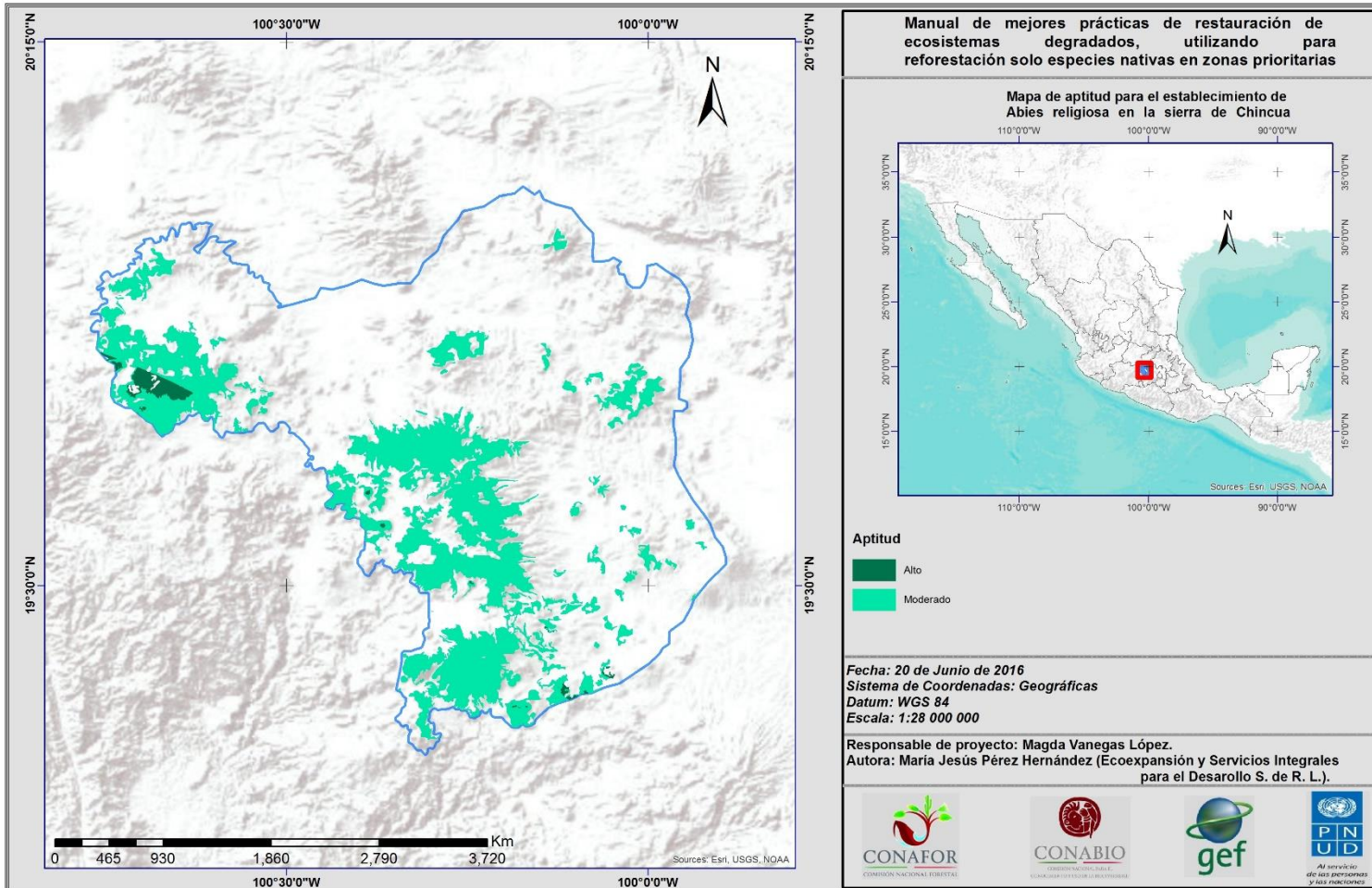


Figura 39. Mapa de aptitud para el establecimiento de *Abies religiosa* en la RTP Sierra de Chincua.

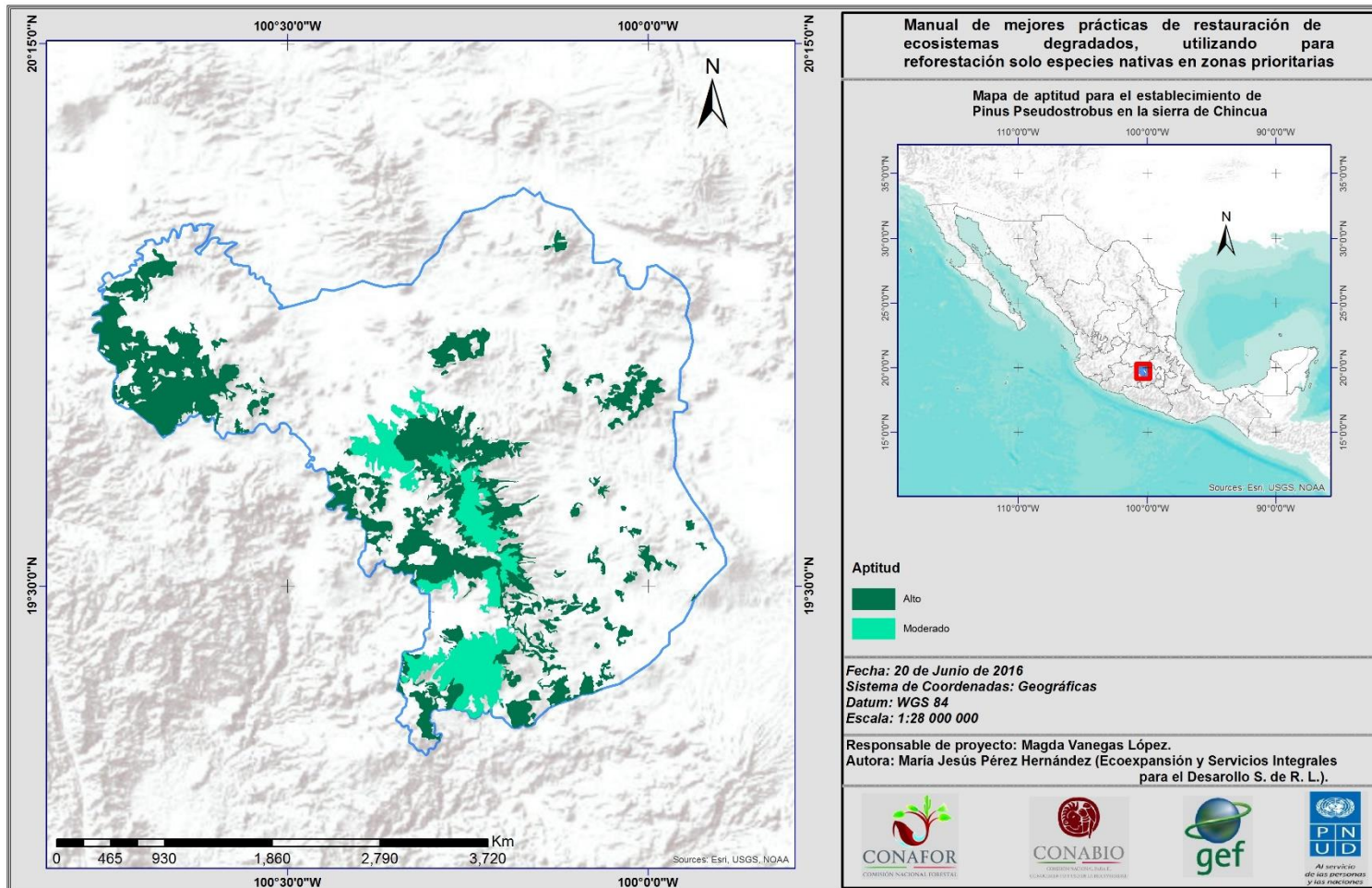


Figura 40. Mapa de aptitud para el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en la RTP Sierra de Chincua.

La importancia de realizar este tipo de análisis de forma previa a las actividades de restauración radica principalmente en que se pueden reducir los costos económicos e incrementar la posibilidad de llegar al éxito deseado en el largo plazo. Si los trabajos se llevan a cabo en áreas con algún tipo de uso como agricultura o ganadería, sería adecuado que la restauración contemple la compensación económica por dejar de realizar las actividades que actualmente se efectúan y el pago debe garantizar la reconversión efectiva de los usos de la tierra y que éstos permanezcan en el largo plazo.

6.5. Definición de áreas a restaurar a nivel predial

Las herramientas aquí señaladas pueden ser útiles para caracterizar las necesidades de restauración del sitio y en consecuencia, elegir las prácticas de manejo más adecuadas. En el Cuadro 18 se presenta una propuesta del formato para la caracterización de los sitios a restaurar, cuya información proveerá de elementos para la toma de decisiones. Durante la elaboración del presente Manual, este formato fue consensuado con el personal de la Coordinación de Conservación y Restauración de la CONAFOR.

Cuadro 18. Propuesta de formato para la caracterización de los sitios a restaurar.

1. Información de campo	
Coordenadas geográficas (Datum WGS 84)	Latitud: _____° _____' _____" Longitud: _____° _____' _____"
Indique el ecosistema al cual pertenece el predio	Templado <input type="checkbox"/> Tropical <input type="checkbox"/> Árido-Semiárido <input type="checkbox"/>
Ubicación del predio en la cuenca	Parte alta <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Valle <input type="checkbox"/>
¿La sección alta de la cuenca está protegida?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Topografía Predominante del predio	Plana (0 -5 grados) <input type="checkbox"/> Ondulada (5-22 grados) <input type="checkbox"/> Accidentada (>22 grados) <input type="checkbox"/>
Superficie total del predio	<input type="text"/> Hectáreas
Del total del predio, indique la superficie susceptible de ser reforestada	<input type="text"/> Hectáreas
Indique la superficie que desea reforestar actualmente	<input type="text"/> Hectáreas
Tipo de vegetación predominante en el predio	Bosque de coníferas <input type="checkbox"/> Bosque de coníferas y latifoliadas <input type="checkbox"/> Bosque de latifoliadas <input type="checkbox"/> Bosque mesófilo de montaña <input type="checkbox"/> Selva alta perennifolia <input type="checkbox"/> Selva mediana o baja perennifolia <input type="checkbox"/> Selva alta o mediana subperennifolia <input type="checkbox"/> Selva alta o mediana subcaducifolia <input type="checkbox"/> Selva baja subperennifolia <input type="checkbox"/> Selva baja caducifolia <input type="checkbox"/> Selva baja espinosa <input type="checkbox"/> Matorral xerófilo <input type="checkbox"/> Matorral rosetófilo (Lechuguilla, candelilla, guayule, yucca) <input type="checkbox"/> Manglar <input type="checkbox"/> Acahual <input type="checkbox"/> Pastizal <input type="checkbox"/> Sin vegetación <input type="checkbox"/> Plantaciones forestales <input type="checkbox"/> Otro: _____
Liste las 3 principales especies forestales nativas en el predio (arbóreas o arbustivas)	Nombre científico sp1: _____ Nombre común sp1: _____ Nombre científico sp2: _____ Nombre común sp2: _____ Nombre científico sp3: _____ Nombre común sp3: _____
Liste las 3 principales especies introducidas (exóticas, trasladadas) que se encuentren en el predio (arbóreas o arbustivas)	Nombre científico sp1: _____ Nombre común sp1: _____ Nombre científico sp2: _____ Nombre común sp2: _____ Nombre científico sp3: _____ Nombre común sp3: _____
Tolerancia a la sombra de la especie (s) solicitada(s)	Nombre científico sp1: _____ ¿Es tolerante a la sombra? Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Nombre científico sp1: _____ ¿Es tolerante a la sombra? Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Nombre científico sp1: _____ ¿Es tolerante a la sombra? Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

Principal causa de pérdida de la vegetación dentro del predio	Agricultura <input type="checkbox"/> Pastoreo <input type="checkbox"/> Aprovechamiento forestal <input type="checkbox"/> Tala ilegal <input type="checkbox"/> Incendios <input type="checkbox"/> Plagas y enfermedades <input type="checkbox"/> Uso doméstico (leña) <input type="checkbox"/> Crecimiento urbano <input type="checkbox"/> Otras causas: _____
Indique la superficie aproximada en hectáreas para cada uno de los usos del suelo presentes actualmente en el predio actualmente (puede elegir más de una opción)	Agricultura <input type="checkbox"/> Agricultura con labranza de conservación <input type="checkbox"/> Ganadería <input type="checkbox"/> Aprovechamiento maderable <input type="checkbox"/> Aprovechamiento no maderable <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Pesca <input type="checkbox"/> Ecoturismo <input type="checkbox"/> Suelos abandonados <input type="checkbox"/>
Indique la superficie aproximada en hectáreas para cada uno de los usos del suelo presentes actualmente en el área que desea reforestar (puede elegir más de una opción)	Agricultura <input type="checkbox"/> Agricultura con labranza de conservación <input type="checkbox"/> Ganadería <input type="checkbox"/> Aprovechamiento maderable <input type="checkbox"/> Aprovechamiento no maderable <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Pesca <input type="checkbox"/> Ecoturismo <input type="checkbox"/> Suelos abandonados <input type="checkbox"/>
Intereses futuros de la reforestación	Captación y filtración de agua <input type="checkbox"/> Generación de oxígeno <input type="checkbox"/> Retención de suelo <input type="checkbox"/> Protección de la biodiversidad <input type="checkbox"/> Belleza escénica <input type="checkbox"/> Forraje <input type="checkbox"/> Aprovechamiento maderable <input type="checkbox"/> Alimentos <input type="checkbox"/> Carbón <input type="checkbox"/> Leña <input type="checkbox"/> Otro: _____
¿El área a reforestar se encuentra cercado para evitar el pastoreo?, indique la superficie.	Sí <input type="checkbox"/> Superficie en hectareas _____ Sólo una parte <input type="checkbox"/> Superficie en hectareas _____ No <input type="checkbox"/> No se requiere <input type="checkbox"/>
Profundidad del suelo	Muy Somero (< 30 cm) <input type="checkbox"/> Somero (30 a 60 cm) <input type="checkbox"/> Moderadamente profundo (60 a 100 cm) <input type="checkbox"/> Profundo (>100 cm) <input type="checkbox"/> Afloramiento rocoso <input type="checkbox"/>
pH del suelo	Fuertemente ácido (<5) <input type="checkbox"/> Moderadamente ácido (5-6.5) <input type="checkbox"/> Neutro (6.6-7.3) <input type="checkbox"/> Alcalino (7.4-8.5) <input type="checkbox"/> Fuertemente alcalino (>8.5) <input type="checkbox"/>
Clase textural del suelo	% Arena <input type="text"/> % Limo <input type="text"/> % Arcilla <input type="text"/> Clase textural: _____
Indique el espesor de la materia orgánica presente en el suelo.	<input type="text"/> Mm
Nivel de afectación del suelo (ver Cuadro 19)	Sin afectación <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Fuerte <input type="checkbox"/> Extremo <input type="checkbox"/>
Altura promedio de los árboles del estrato inferior (I) (ver Cuadro 20).	Sitio 1 <input type="text"/> m Sitio 2 <input type="text"/> m Sitio 3 <input type="text"/> m
Altura promedio de los árboles del estrato medio (II) (ver Cuadro 20).	Sitio 1 <input type="text"/> m Sitio 2 <input type="text"/> m Sitio 3 <input type="text"/> m
Altura promedio de los árboles del estrato	

Superior (III) (ver Cuadro 20).	Sitio 1 <input type="text"/> m	Sitio 2 <input type="text"/> m	Sitio 3 <input type="text"/> m
Porcentaje de cobertura arbórea	Sitio 1 <input type="text"/> %	Sitio 2 <input type="text"/> %	Sitio 3 <input type="text"/> %
Porcentaje de cobertura arbustiva	Sitio 1 <input type="text"/> %	Sitio 2 <input type="text"/> %	Sitio 3 <input type="text"/> %
Porcentaje de cobertura herbácea	Sitio 1 <input type="text"/> %	Sitio 2 <input type="text"/> %	Sitio 3 <input type="text"/> %
Grado de fragmentación del paisaje (ver Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada. Cuadro 21)	Alto <input type="checkbox"/>	Moderado <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/> Sin fragmentación <input type="checkbox"/>
Determinar abundancia de la especies (Utilice el documento anexo en formato XLSX)			
Fenómenos meteorológicos extremos que afectan frecuentemente el área	Huracanes <input type="checkbox"/>	Sequias <input type="checkbox"/>	Heladas <input type="checkbox"/> Inundaciones <input type="checkbox"/>
Disturbios más comunes en el área	Contaminantes químicos <input type="checkbox"/>	Fuego <input type="checkbox"/>	Inundaciones <input type="checkbox"/>
	Fragmentación de las coberturas nativas <input type="checkbox"/>	Pastoreo <input type="checkbox"/>	Huracanes <input type="checkbox"/>
	Especies invasoras <input type="checkbox"/>	Derrumbes <input type="checkbox"/>	Agricultura <input type="checkbox"/>
	Daño mecánico <input type="checkbox"/>	Urbanización <input type="checkbox"/>	Viento <input type="checkbox"/>
Principales plagas y/o enfermedades presentes actualmente en la vegetación primaria del predio	Descortezadores <input type="checkbox"/>	Muérdago <input type="checkbox"/>	Defoliadores <input type="checkbox"/> Barrenadores <input type="checkbox"/>
	Plagas y enfermedades de la raíz <input type="checkbox"/>	Plagas de conos <input type="checkbox"/>	
	Tillandsia (plantas epífitas) <input type="checkbox"/>	Sin afectación por plagas y enfermedades <input type="checkbox"/>	
Superficie en hectáreas de la vegetación del predio afectada por plagas y/o enfermedades	Descortezadores <input type="text"/>	Muérdago <input type="text"/>	Defoliadores <input type="text"/>
	Barrenadores <input type="text"/>	Plagas y enfermedades de la raíz <input type="text"/>	
	Plagas de conos <input type="text"/>	Tillandsia (plantas epífitas) <input type="text"/>	
	Sin afectación por plagas y enfermedades <input type="text"/>		
Del total de la superficie afectada por plagas y/o enfermedades, indique la superficie que ha sido tratada y la fecha	Superficie <input type="text"/> ha	Fecha en la que se trató	<input type="text"/> D / <input type="text"/> M / <input type="text"/> A
En reforestaciones realizadas en años anteriores, indique las principales causas de muerte	Especie no apropiada al sitio <input type="checkbox"/>	Fecha inapropiada de la plantación <input type="checkbox"/>	
	Planta de mala calidad <input type="checkbox"/>	Competencia con vegetación <input type="checkbox"/>	
	Técnica Inadecuada de plantación <input type="checkbox"/>	Pastoreo <input type="checkbox"/> Sequías <input type="checkbox"/> Heladas <input type="checkbox"/>	
	Incendio <input type="checkbox"/> Cambio de uso de suelo <input type="checkbox"/> Fauna nociva <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/>		
	Ciclones o huracanes <input type="checkbox"/> No hay mortandad <input type="checkbox"/> Otro: _____		

En el Cuadro 19, Cuadro 20 y Cuadro 21 se presentan los criterios para evaluar el nivel de afectación del suelo, la estructura vertical de diferentes tipos de vegetación y el grado de fragmentación presentes en el predio.

Cuadro 19. Nivel de afectación del suelo.

Clase	Descripción
Sin afectación	Suelos sin evidencia de degradación que impiden la productividad biológica de los terrenos.
Ligero	Suelos que presenta alguna reducción apenas perceptible en su productividad, en la que se ha perdido hasta el 25 % de la capa superficial; entre el 10 y 20% de la superficie del área presenta problemas de canalillos y cárcavas pequeñas
Moderado	Suelos con marcada reducción en su productividad. El suelo ha perdido de 26 a 50 % de la capa superficial; presenta erosión en canalillos, canales y cárcavas pequeñas.
Fuerte	Se requieren grandes trabajos de ingeniería para su restauración, presenta pérdida de 51 a 75 % de la capa superficial del suelo. Ocurre en manchones de material consolidado, tipo tepetate o afloramientos rocosos, así como cárcavas de todos los tamaños. Presenta niveles con degradación ligera o moderada en 25 % del área total
Extremo	Terrenos cuya productividad es irrecuperable, presenta pérdidas superiores a 75 % de la capa de suelo superficial, con cárcavas profundas.

Fuente: Van y Oldeman (1997).

Cuadro 20. Valores de referencia para evaluar la estructura vertical de diferentes tipos de vegetación.

Ecosistema	Estrato I	Estrato II	Estrato III
Templado con predominancia de coníferas o latifoliadas de porte alto	<10 m	10-20 m	>20 m
Templado con predominancia de latifoliadas de porte bajo	<7m	7-15	>15 m
Tropical seco	<10 m	10-20 m	>20 m
Tropical húmedo	<10 m	10-25 m	>25 m
Bosque mesófilo de montaña	<10 m	10-20 m	>20 m
Zonas áridas	< 3 m	3-9 m	>10 m

Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada.

Cuadro 21. Grado de fragmentación.

Clase	Descripción
Sin fragmentación	La vegetación nativa cubre la mayor parte del área y se conserva como una sola unidad en más del 90 % del paisaje.
Bajo	Dentro del paisaje, se conservan parches de vegetación nativa de tamaños considerables que cubren hasta el 60 % del paisaje.
Moderado	Es posible observar parches de vegetación nativa distribuidos en el paisaje de forma aislada, cubriendo una superficie no mayor al 40 % del paisaje, la dispersión de polen y semilla se dificulta ya que los parches de hábitat se encuentran rodeados de territorio inhóspito.
Alto	La mayor parte del área con vegetación nativa ha sido destruida y únicamente se conservan relictos que cubren superficies no mayores al 10 % del paisaje.

Fuente: Adaptado de Hobbs y Wilson (1998).

La información recopilada permitirá caracterizar el sitio con el propósito de disponer de herramientas de decisión sobre la prioridad de realizar restauración.

6.5.1. Índice de Prioridad de Restauración

Actualmente, la CONAFOR ha focalizado la ejecución de plantaciones con fines de restauración a través de la definición de áreas prioritarias con base en la utilización de diversos insumos cartográficos y criterios técnicos y sociales. Este esfuerzo ha representado un gran avance para incrementar la eficiencia en el uso de los recursos públicos destinados a la restauración; sin embargo, coleccionar información estandarizada a nivel predial permitiría incrementar aún más la eficiencia de las acciones y tomar decisiones específicas para atender, en la medida de lo posible, las necesidades de cada sitio. Para ello, en este documento se propone la utilización del “Índice de Prioridad de Restauración” (IPR) diseñado con el propósito de sintetizar la condición de cada uno de los predios donde potencialmente se ejecutarán las actividades de restauración.

La fórmula para obtener el IPR es la siguiente:

$$IPR = \left(\frac{1}{3} VUP/C + \frac{1}{3} IEV + \frac{1}{3} IEH + ID + VIP + IS + ISAA \right)$$

Donde:

IPR= Índice de Prioridad de Restauración

VUP/C= Valoración de la ubicación del predio en la cuenca

IEV= Índice de Estructura Vertical

IEH= Índice de Estructura Horizontal

ID=Índice de diversidad

VIP= Valor asignado al Índice de Pieri

IS= Índice de Sanidad

ISAA= Índice de Susceptibilidad ante actividades antropogénicas

Como se podrá observar, este índice compuesto requiere la disposición de la información colectada en el formato del Cuadro 11 y a su vez, el cálculo de los indicadores

mencionados. Con la finalidad de dar mayor agilidad a este proceso, como parte del presente manual se han generado archivos con formato *.xls donde se podrá registrar la información base y, automáticamente se estimará el IPR. Esta herramienta contribuirá a brindar agilidad en la dictaminación de los proyectos apoyados por la CONAFOR y emitir recomendaciones generales sobre algunas actividades de manejo en los predios (por ejemplo, manejo de la sanidad, control de herbáceas, densidades de plantación adecuadas, etc.). La calificación del IPR asociada a los valores obtenidos en el cálculo es la que se presenta a continuación:

- Mayor Prioridad (Nivel 1) = (16-25]
- Prioridad media (Nivel 2)= (7.33-16]
- Baja prioridad (Nivel 3)= (0-7.33]

Como cualquier índice de reciente creación, éste requiere ser contrastado con datos empíricos para verificar su utilidad o, en su caso, hacer las modificaciones pertinentes. Se vislumbra realizar la validación en una siguiente etapa del proyecto.

6.5.1.1. Evaluando la ubicación del predio en la cuenca

Como ya se indicó, en un proyecto de restauración forestal con enfoque de cuenca es importante considerar la importancia técnica de que los proyectos de reforestación inicien en las partes altas cuando éstas no cuentan con una masa arbolada que las proteja del proceso erosivo. Cabe recordar que las acciones de reforestación con fines de restauración en nuestro país responden, en primera instancia, al interés de los dueños de las áreas forestales; y por ello, realizar una priorización adecuada de los predios implica determinar cuál es su ubicación dentro de la cuenca a la que pertenecen. El componente del IPR diseñado con este propósito asigna un mayor puntaje a los predios que se encuentran en las partes de la cuenca, o bien en la ladera siempre y cuando la parte alta se encuentre protegida (Cuadro 22).

$$VUP/C = UPC * \vartheta_i$$

Donde:

VUP/C= Valoración de la ubicación del predio en la cuenca

UPC= Ubicación del predio en la cuenca (parte alta, ladera o valle)

ϑ_i = Ponderador para el predio, en función de la cobertura de la parte alta

Cuadro 22. Puntuación para calificar la prioridad del predio de ser reforestado en función de su ubicación dentro de la cuenca.

Ubicación del predio dentro de la cuenca	Valor asignado a la ubicación del predio	¿La parte superior de la cuenca está protegida? (θ_i)	
		Sí	No
Parte alta	3	3	4
Ladera	2	3	1.5
Valle	1	1.5	1

Fuente: Elaboración propia.

Así por ejemplo, si un predio donde se pretenden realizar acciones de reforestación se ubica en la sección alta de la cuenca, recibirá un puntaje de 3. Este valor será multiplicado por 4 si en general, la parte alta de la cuenca está desprotegida de vegetación, lo que da como resultado los 12 puntos asignados al predio en este indicador. De esta forma, los predios ubicados en la sección alta serán los prioritarios para reforestar, seguido de los predios ubicados en zonas de ladera donde la parte alta de la cuenca sí esté protegida. El rango de este indicador es de [1 – 12].

Como ya se indicó, otras condiciones del predio permitirán priorizar las acciones de reforestación en los distintos predios. A continuación se describe cómo calcular el segundo componente del IPR: la estructura vertical del predio.

6.5.1.2. Evaluando la estructura vertical del predio

Los valores que se presentan en el Cuadro 23 son las alturas de los distintos estratos verticales, definidas por diversos autores para los tipos de vegetación bajo estudio. Cabe indicar que en los casos donde los investigadores sugirieron más de tres estratos, éstos fueron adaptados para que hubiera congruencia con los reportados en otros artículos. En la columna fuente se precisa cuando éste ha sido el caso con la palabra “adaptado”.

Cuadro 23. Valores de referencia reportados por diversos autores para la estructura vertical de diferentes tipos de vegetación.

Ecosistema	Estrato I	Estrato III	Estrato III	Fuente
Templado	<10 m	10-20 m	>20 m	Adaptado de: López (2007).
Templado (perturbado)	< 3 m	3-9 m	>10 m	Ugalde <i>et al.</i> (2009).
Tropical	<10 m	10-20 m	>20 m	López <i>et al.</i> (2014); Vázquez <i>et al.</i> (2011); Adaptado de García <i>et al.</i>

Ecosistema	Estrato I	Estrato II	Estrato III	Fuente
				(2014); Adaptado de Zarco <i>et al.</i> (2011).
Selva mediana perennifolia	<10 m	11-20 m	>20 m	Sarukhan (1968); citado por Basáñez <i>et al.</i> (2008).
Tropical subperennifolio (perturbado)	< 3 m	3-9 m	>10 m	Carreón y Valdés (2014).
Selva mediana subcaducifolia	<4.4 m	4.5-10.4	>10.4 m	Adaptado de: Gutiérrez <i>et al.</i> (2011).
Zonas áridas	<3m	3-7 m	>7 m	García y Jurado (2008).
Bosque de niebla	<10 m	10-20 m	>20 m	Fortanelli <i>et al.</i> (2014).
Bosque de encino-pino	<7m	7-15	>15 m	Rubio <i>et al.</i> (2011).

Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada.

La información reportada en la literatura científica fue utilizada como base para construir un criterio con el objetivo de calificar la condición de la estructura vertical en el predio potencial para efectuar las acciones de restauración. Los valores sugeridos se presentan en el Cuadro 24. Es preciso indicar que en el Cuadro se distinguen latifoliadas de porte bajo (por ejemplo las diversas especies del género *Quercus* spp. o encino) de las de porte alto, con el propósito de considerar la propia fenología de las especies.

Cuadro 24. Puntaje sugerido para evaluar la estructura vertical de las áreas sujetas a acciones de conservación

Ecosistema	Estrato I	Estrato II	Estrato III
Templado con predominancia de coníferas o latifoliadas de porte alto	<10 m	10-20 m	>20 m
Templado con predominancia de latifoliadas de porte bajo	<7m	7-15	>15 m
Tropical seco	<10 m	10-20 m	>20 m
Tropical húmedo	<10 m	10-25 m	>25 m
Bosque mesófilo de montaña	<10 m	10-20 m	>20 m
Zonas áridas	< 3 m	3-9 m	>10 m
Factor de ponderación/Puntaje	$\lambda = (1.5)$	$\lambda = (1)$	$\lambda = (0.5)$
Asignar 1 punto	0-30 %	0-30 %	61-100 %
Asignar 2 puntos	31-60 %	61-100%	30-60 %
Asignar 4 puntos	61-100 %	31-60 %	0-30 %

Fuente: Elaboración propia, con base en la información del Cuadro 23.

La estructura vertical del predio, será sintetizada en un índice (IEV) cuya fórmula es:

$$IEV = \sum_{j=1}^3 \lambda_j V_j$$

Donde:

IEV= Índice de estructura vertical

λ_j = Ponderador para el j-ésimo estrato

V_j = Puntaje obtenido en el j-ésimo estrato.

Por ejemplo, si en un predio el 75 % de los individuos corresponden al estrato I y 25 % al estrato II, el puntaje asignado en la calificación será 6 para el primer estrato y 1 para el segundo. Estos valores serán multiplicados individualmente por el ponderador (λ_j) y la sumatoria de ambos productos será el valor del Índice de estructura vertical (Cuadro 25). Dando un resultado total de: $(4 \cdot 1.5) + (1 \cdot 1) = 7$.

En el Cuadro 25 se muestran diversos ejemplos hipotéticos que permiten ilustrar el uso de la escala de calificación.

Cuadro 25. Ejemplos hipotéticos para ilustrar el uso del Índice de Estructura Vertical

	Estrato I	Estrato II	Estrato III	Calificación asignada
Caso 1	20 %	32 %	48 %	----
Puntaje	1.5	3	1	5.5
Caso 2	44 %	22 %	34 %	----
Puntaje	3	1	1	5
Caso 3	15 %	32 %	53 %	----
Puntaje	1.5	4	1	6.5

Fuente: Elaboración propia.

Con estas consideraciones, el rango del IEV es [3 – 12], con distintos valores intermedios, en función de las condiciones específicas del predio.

6.5.1.3. Evaluando la estructura horizontal del predio

La estructura horizontal del predio se evaluará considerando la información de cobertura de los tres estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo) y se estimará con un mecanismo de evaluación similar al del IEV. Se propone utilizar la escala que se muestra en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Evaluación del estrato horizontal a nivel predial

Calificación	Estrato herbáceo	Estrato arbustivo	Estrato arbóreo
Asignar 0 puntos	>60 %	>60 %	>60 %
Asignar 1 punto	41-60 %	41-50%	41-50%
Asignar 2 puntos	26-40 %	26-40 %	26-40 %
Asignar 4 puntos	0-25 %	0-25 %	0-25 %

Fuente: Elaboración propia.

Una vez asignado el puntaje, el índice de Estructura horizontal será calculado con la sumatoria de los tres puntajes obtenidos a través de la siguiente fórmula:

$$IEH = \sum_{i=1}^3 Ce_i$$

Donde:

IEH= Índice de Estructura Horizontal

Ce_i= Calificación obtenida para el estrato “i”

De esta manera, el rango del Índice de Estructura Horizontal (0-12].

6.5.1.4. Índice de diversidad de Simpson

El valor de este índice tiene un rango de 0 a 1, donde 0 refleja una máxima diversidad y 1, máxima dominancia. Los autores consultados refirieron los resultados que se presentan en el Cuadro 27. El valor intermedio (50 o 0.5) es característico de las etapas sucesionales secundarias tempranas (Melo y Vargas, 2003). Un análisis superficial de la situación podría sugerir que en estas comunidades es donde se deberían priorizar los esfuerzos de restauración; sin embargo, esta consideración debe incluir un análisis de la función ecológica de la (s) especie (s) dominante (s). Por ejemplo, en bosques templados, después de un incendio *Quercus frutex* coloniza e impide el crecimiento de otras especies, por lo cual, un valor de máxima dominancia significaría la necesidad de realizar actividades de reforestación con alguna especie de interés. Un caso contrario podría ser el de una especie facilitadora de la sucesión como diversas especies de leguminosas, que fijan nitrógeno y favorecen el establecimiento de otras especies. Esto significa que el responsable de realizar la evaluación de la factibilidad de reforestar con especies nativas *in situ* debe considerar, además de los valores obtenidos en los índices *per sé*, la etapa sucesional del sitio y la función ecológica de la especie dominante.

Cuadro 27. Valores del índice de diversidad de Simpson reportados por diversos autores.

Ecosistema	Rango del valor del índice de Simpson	Autor
Bosque de pino	0.66-0.81	López Gijón (2007)
Fragmentos de bosque templado	0.49-0.85	López <i>et al.</i> , 2010
Bosque de Encino	0.59-0.84	Rubio <i>et al.</i> , 2011

Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada.

Los valores propuestos para realizar la ponderación del Índice de diversidad de Simpson se presentan en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Ponderación del valor del índice de diversidad de Simpson para determinar la prioridad de reforestación a nivel predial.

¿La especie dominante es representativa de la comunidad clímax del ecosistema o es una especie clave?	Valor estimado del índice de Simpson		
	0-0.49	0.50-0.85	0.86-1.00
Sí	2	1	1
No	2	3	3

Fuente: Elaboración propia.

6.5.1.5. Evaluando la Compactación del suelo

Como ya se indicó, los resultados de IE inferiores a 5 indican suelos degradados, IE con valores de 5 a 7 suelos con alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación, IE de 7 a 9 suelos con moderado riesgo a la degradación y valores de IE mayores a 9 son suelos estructuralmente estables. Con el propósito de incorporar esta información para priorizar las acciones de restauración, se propone utilizar la escala que se presenta en el Cuadro 29. Debido a la importancia del recurso suelo en la conservación de los ecosistemas, en el índice de prioridad de restauración se asigna un puntaje mayor en la valoración general, con relación a la puntuación otorgada a los componentes analizados e incluidos en el índice general. Se enfatiza la necesidad de priorizar los suelos con alto riesgo a la degradación física sobre los suelos degradados. Esto se justifica debido a que en estas condiciones, se puede prevenir que una superficie mayor se convierta en superficie degradada, y los costos asociados son menores en comparación con los suelos degradados.

Cuadro 29. Puntuación asignada al índice de Pieri para su incorporación en el Índice de Prioridad de Restauración.

Índice de Pieri	Descripción	Escala en el Índice de Prioridad de Restauración
<5	Suelos degradados	2
5-7	Alto riesgo a la degradación física por encostramiento	1
7-9	Moderado riesgo a la degradación	3
>9	Estructuralmente estables	4

Fuente: Pieri (1995).

6.5.1.6. Sanidad forestal

La sanidad forestal es un elemento muy importante en el manejo de las áreas donde se efectuarán las actividades de restauración forestal. En el índice de prioridad de restauración esta condición se considera en función del tipo de agente causal, la superficie afectada y el manejo en el momento de la planificación de la reforestación. Se determinará con la siguiente fórmula:

$$IS = VaPas_i * \alpha_i$$

Donde:

IS= Índice de Sanidad

VaPas_i= Valor asignado al porcentaje de afectación del predio (Cuadro 29)

α_i = Ponderador (en caso de tratamiento)

En el Cuadro 30 se presentan los valores que se asignarán en función del agente causal, el porcentaje de afectación del predio y el ponderador

Cuadro 30. Propuesta para calificar la sanidad del predio donde se efectuarán actividades de reforestación con especies nativas.

Agente causal	Porcentaje de afectación del predio			¿El área tiene tratamiento para el control del agente causal? (α)	
	1-33 %	34-66 %	67-100%	Sí	No
Descortezadores	3	1	1	1	0.3
Muérdago	3	2	1	1	0.5
Defoliadores	3	2	1	1	0.5
Barrenadores	3	1	1	1	0.5
Plagas y enfermedades de la raíz	3	1	1	1	0.5
Plagas de conos	3	1	1	1	0.5
Tillandsia (plantas epífitas)	3	2	1	1	0.5
Sin afectación por plagas y enfermedades	4	---	---	1	---

Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada.



Figura 41. Daño por *Hysipyla grandella* en *Cedrela odorata*.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2012).

6.5.1.7. Susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación por actividades antropogénicas

El uso de suelo es uno de los componentes que se propone tomar en cuenta para determinar la prioridad de emprender acciones en un sitio con relación a otro. En este caso, la evaluación de las actividades antropogénicas se basa en el hecho de que algunas actividades tienen un impacto mayor sobre las plantaciones en comparación con otras. La premisa base es que en México, donde existen unidades de producción de pequeñas superficies, los dueños y poseedores combinan distintos usos, mismos que pueden tener repercusiones negativas sobre las áreas forestales donde se realizan actividades de restauración; busca determinar las actividades que coexistirán con la reforestación y asignar un valor de “alto riesgo” a aquellas que podrían afectarla. En esta valoración se utiliza un ponderador cuyos puntajes dependen del tipo de uso (Cuadro 31).

Cuadro 31. Ponderación propuesta para valorar la susceptibilidad de la reforestación a presiones antropogénicas

Uso de suelo	Ponderador (μ)
Superficie destinada a la reforestación	1
Superficie destinada a la provisión de servicios ambientales	1
Ecoturismo	1.1
Agricultura con labranza de conservación	1.1
Aprovechamiento forestal maderable (con permisos de aprovechamiento)	1.2

Uso de suelo	Ponderador (μ)
Aprovechamiento forestal no maderable (con permisos de aprovechamiento)	1.2
Tala clandestina o extracción de no maderables sin autorización legal	1.5
Agricultura	1.5
Ganadería	1.5
Minería	1.5
Sin uso por degradación	1.5

Fuente: Elaboración propia.

Se propone que en el proyecto de restauración, el dueño del predio realice la asignación de la superficie destinada a cada uso. La superficie total será registrada y se multiplicará por el ponderador establecido en el Cuadro 31. Posteriormente, se hará una sumatoria de los resultados obtenidos. Se aplicará la siguiente fórmula:

$$\text{Superficie de amortiguamiento} = \sum_{i=1}^n (\text{Sup } i * \mu_i)$$

Donde:

Sup_i= Superficie dentro del predio destinada al uso i

μ = Ponderador del uso i

Posteriormente, esta información será utilizada para estimar el índice de susceptibilidad con la siguiente fórmula:

$$\text{ISAA} = \text{Superficie del predio} - \text{Superficie de amortiguamiento}$$

Para incorporar el ISAA al cálculo de prioridad de reforestación se asignarán los puntajes que se presentan en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Valoración del Índice de Susceptibilidad de la superficie destinada a la reforestación ante actividades antropogénicas.

Valor obtenido en el ISAA	Puntaje	Descripción de la valoración
ISAA \geq 0	3	Mayor prioridad de reforestación
ISAA < 0	1	Menor prioridad de reforestación

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 42 se muestran ejemplos de actividades de ganadería con reforestación.



Figura 42. Actividades de ganadería en sitios con reforestación.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2015).

7. Selección de especies nativas en la reforestación con el objetivo de impulsar la restauración forestal

En sitios con niveles de degradación bajos o intermedios, donde los suelos permanecen intactos y hay un suficiente germoplasma disponible para la siguiente generación, la regeneración natural es la mejor selección, (Chazdon, 2008, citado por Thomas *et al.* 2014). Esta elección disminuye la posibilidad de que se presenten algunos riesgos inherentes a la introducción del germoplasma, manteniendo la integridad genética y el establecimiento de brinzales bien adaptados. En los sitios donde no existen diversas fuentes de semillas o éstas no son suficientes, donde las fuentes de semillas sufren de erosión genética o se prevé la reforestación, la introducción de materiales provenientes de fuentes fuera del sitio puede ser una ventaja o la única solución al menos en el corto plazo.

Generalmente, con el fin de reestablecer ecosistemas autosostenibles y los servicios derivados de éstos, se prefiere elegir especies nativas con respecto a las exóticas; aunque éstas últimas pueden ser útiles o necesarias (sobre todo en sitios muy degradados) como especies nodriza para mejorar el micrositio (Lamb, 2012; Montagnini y Finney, 2011; Newton, 2011; citados por Thomas *et al.*, 2014). Gómez-Romero *et al.* (2012) recomendaron establecer especies como *Pinus greggii* en Michoacán (fuera de su área de distribución natural) para favorecer, en un momento posterior la plantación y el establecimiento de especies nativas.

De acuerdo con la CONABIO²⁶, las plantas valiosas para la restauración y la reforestación deben presentar las siguientes cualidades.

- Ser de fácil propagación.
- En función de las condiciones del ecosistema a restaurar deben resistir condiciones limitantes, como baja fertilidad, sequía, suelos compactados, pH alto o bajo, salinidad, etcétera.
- Tener crecimiento rápido y una relación alta de C/N
- Tener alguna utilidad adicional a su efecto restaurador; por ejemplo, producir leña, carbón, forraje nutritivo, vainas comestibles, madera o néctar.
- Nula tendencia a adquirir una propagación invasora e incontrolable.
- Que tiendan a favorecer el restablecimiento de las poblaciones de elementos de la flora y fauna nativas, proporcionándoles un hábitat y alimento.

²⁶ Proyecto J-084. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación.

La CONABIO y la CONAFOR ya realizaron un esfuerzo por recopilar la información de árboles y arbustos útiles en la reforestación; en instituciones como el INIFAP y la Universidad Autónoma Chapingo también se ha recopilado información de cara a los requerimientos ecológicos de las especies forestales (nativas e introducidas); sin embargo ésta se encuentra dispersa en diversas monografías. Como parte de este manual, la información fue sistematizada en un archivo de Microsoft Excel® donde la persona interesada podrá buscar la especie de su interés y consultar las variables específicas de los requerimientos ambientales, las entidades donde se distribuye de manera natural y sus usos potenciales. En el Cuadro 33 se presenta el listado de especies utilizadas por la CONAFOR en proyectos de restauración forestal.

Cuadro 33. Especies nativas de México utilizadas por la CONAFOR en la restauración de ecosistemas forestales por zona climática.

Especie	Grupo climático	Especie	Grupo climático	Especie	Grupo climático
<i>Abies religiosa</i>	Templado	<i>Acacia guatemalensis</i>	Tropical	<i>Acacia farnesiana</i>	Árido-Semiárido
<i>Alnus acuminata</i>	Templado	<i>Albizia plurijuga</i>	Tropical	<i>Acacia pennatula</i>	Árido-Semiárido
<i>Arbutus glandulosa</i>	Templado	<i>Brosimum alicastrum</i>	Tropical	<i>Agave angustifolia</i>	Árido-Semiárido
<i>Arbutus xalapensis</i>	Templado	<i>Bursera linaloe</i>	Tropical	<i>Agave Americana</i>	Árido-Semiárido
<i>Cupressus forbesii</i>	Templado	<i>Caesalpinia platyloba</i>	Tropical	<i>Agave atrovirens</i>	Árido-Semiárido
<i>Cupressus lindleyi</i>	Templado	<i>Cedrela odorata</i>	Tropical	<i>Agave cupreata</i>	Árido-Semiárido
<i>Dodonaea viscosa</i>	Templado	<i>Ceiba pentandra</i>	Tropical	<i>Agave potatorum</i>	Árido-Semiárido
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Templado	<i>Cordia alliodora</i>	Tropical	<i>Agave salmiana</i>	Árido-Semiárido
<i>Fraxinus uhdei</i>	Templado	<i>Cordia dodecandra</i>	Tropical	<i>Capsicum annum</i>	Árido-Semiárido
<i>Fraxinus velutina</i>	Templado	<i>Cordia sebestena</i>	Tropical	<i>Ebanopsis ebano</i>	Árido-Semiárido
<i>Juniperus deppeana</i>	Templado	<i>Crescentia cujete</i>	Tropical	<i>Pinus cembroides</i>	Árido-Semiárido
<i>Juniperus flaccida</i>	Templado	<i>Cyrtocarpa procerca</i>	Tropical	<i>Pinus maximartinezii</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus arizonica</i>	Templado	<i>Ehretia tinifolia</i>	Tropical	<i>Piscidia piscipula</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus ayacahuite</i>	Templado	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Tropical	<i>Prosopis glandulosa</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus chiapensis</i>	Templado	<i>Gliricidia sepium</i>	Tropical	<i>Prosopis leavigata</i>	Árido-Semiárido

Especie	Grupo climático	Especie	Grupo climático	Especie	Grupo climático
<i>Pinus devoniana</i>	Templado	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Tropical	<i>Rhus ovata</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus douglasiana</i>	Templado	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	Tropical	<i>Washingtonia robusta</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus durangensis</i>	Templado	<i>Leucaena esculenta</i>	Tropical	<i>Yuca filifera</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus engelmannii</i>	Templado	<i>Leucaena leucocephala</i>	Tropical	<i>Yucca schidigera</i>	Árido-Semiárido
<i>Pinus greggii</i>	Templado	<i>Lonchocarpus longistylus</i>	Tropical		
<i>Pinus jeffreyi</i>	Templado	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	Tropical		
<i>Pinus lawsonii</i>	Templado	<i>Lysiloma divaricata</i>	Tropical		
<i>Pinus leiophylla</i>	Templado	<i>Pithecellobium dulce</i>	Tropical		
<i>Pinus maximinoi</i>	Templado	<i>Sabal yapa</i>	Tropical		
<i>Pinus montezumae</i>	Templado	<i>Schizolobium parahyba</i>	Tropical		
<i>Pinus oaxacana</i>	Templado	<i>Swietenia humilis</i>	Tropical		
<i>Pinus oocarpa</i>	Templado	<i>Swietenia macrophylla</i>	Tropical		
<i>Pinus patula</i>	Templado	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	Tropical		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Templado	<i>Tabebuia palmeri</i>	Tropical		
<i>Pinus pseudostrobus var. oaxacana</i>	Templado	<i>Tabebuia rosea</i>	Tropical		
<i>Pinus quadrifolia</i>	Templado	<i>Taxodium mucronatum</i>	Tropical		
<i>Pinus rudis</i>	Templado	<i>Tecoma stans</i>	Tropical		
<i>Pinus teocote</i>	Templado	<i>Thevetia peruviana</i>	Tropical		
<i>Quercus arizonica</i>	Templado				
<i>Quercus eduardi</i>	Templado				
<i>Quercus laurina</i>	Templado				
<i>Quercus macrophylla</i>	Templado				
<i>Quercus potosina</i>	Templado				
<i>Quercus resinosa</i>	Templado				
<i>Quercus rugosa</i>	Templado				
<i>Quercus virginiana</i>	Templado				
<i>Quercus xalapensis</i>	Templado				

Fuente: UACH y CONAFOR (2015).

Para tener un mejor manejo de la información de los requerimientos ambientales de las especies nativas, se generó una mascarilla de búsqueda en Microsoft Excel® (Figura 43).

ESPECIES NATIVAS DE MÉXICO	
Especie	Abies religiosa
Nombre común	Abeto, Oyamel, Pinabete, Thúcum, ocopetla.
Ecosistema	Templado
Entidades donde se distribuyen	Ciudad De México, Aguascalientes, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Sinaloa, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Morelos, México, Guerrero y Tlaxcala.
Temperatura mínima (°C)	-12
Temperatura máxima (°C)	15
Precipitación mínima (mm)	900
Precipitación máxima(mm)	2000
Altitud mínima	2500
Altitud máxima	4100
Tipo de suelo (Clasificación WRB)	Histosol, Cambisol, Nitisol, Umbrisol, Cambisol
Profundidad del suelo	Someros a profundos
Textura	Limo-arenoso, arcillo-arenoso, arenoso
pH	5.0-7.0
Contenido de Materia Orgánica	Muy alto
Asociación vegetal	Bosque de coníferas
Usos	Industrial, ornamental

Figura 43. Base de datos con información de especies nativas utilizadas en proyectos de restauración forestal de la CONAFOR.

Fuente: Elaboración propia, con base en la literatura consultada.

Disponer de esta información (y tomarla como base en las acciones de reforestación) cobra importancia para seleccionar especies nativas de México y corroborar que éstas correspondan al ecosistema que se pretende restaurar. También es necesario considerar que si el rango de distribución de una especie es amplio, habrá una mayor variabilidad genética dentro de ella dado que se desarrollará en distintos tipos de condiciones ambientales bióticas y abióticas. En cambio, si su distribución es restringida su variabilidad genética también lo es (Rodríguez, 2008).

Supongamos un caso extremo, por ejemplo *Cedrela odorata* cuyo rango de distribución natural es amplio (la vertiente del Golfo de México, desde el sur de Tamaulipas y Sureste de San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán y en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta Guerrero, en la Depresión Central y la Costa de Chiapas). Aunque sea una especie nativa de México, y la semilla haya sido colectada en Oaxaca, sería inconveniente establecerla en Sinaloa, debido a las variaciones ecotípicas o clinales que podrían estar presentes.

7.1. Producción de especies nativas en vivero

El proceso de producción de plantas en vivero comprende diversas etapas, como la obtención de semilla de calidad, el procesamiento de las semillas (clasificación, selección, limpieza, secado, almacenamiento, tratamientos pregerminativos, etc.), la preparación del sustrato, el llenado de los envases, el trasplante, el riego, la fertilización, el control de plagas y enfermedades.

Un vivero de especies nativas debe tener como objetivo producir planta de calidad de especies cuya distribución natural corresponda a su área de influencia. Analizando la distribución de viveros con asignación de plantas para la reforestación de predios apoyados por la CONAFOR en 2014, se observó que, en 65 % de los casos en donde el tiempo de traslado de la planta fue inferior a tres horas, la mortandad fue menor al 5 %. Por lo cual, la planeación de la ubicación de los viveros debe considerar las condiciones de los sitios a restaurar y garantizar atributos en la planta que favorezcan una alta sobrevivencia en campo.

7.1.1. Producción de semilla

El éxito de la producción de plantas en un vivero está ampliamente relacionado con la calidad de la semilla utilizada. Para garantizar esta calidad se deben cuidar tres aspectos básicos: calidad genética, física y fisiológica de las semillas.

La calidad genética está dada por la identidad botánica de la semilla y las características genéticas de los árboles progenitores. La calidad física de la semilla depende del tamaño, color, edad, estado de la testa o cobertura, presencia de plagas y enfermedades. Finalmente, que la calidad fisiológica depende de la madurez, contenido de humedad y capacidad germinativa.

Con fines de restauración, será deseable contar con una amplia base genética, con este propósito Meffe y Carrol, 1997 (citados por Rodríguez, 2008) proponen:

1. La colecta de semilla debe realizarse en poblaciones grandes, pues a mayor variación, habrá menos deriva genética y endogamia.
2. Reducir en la medida de lo posible la selección artificial.
3. Estimular la recuperación natural de poblaciones pequeñas.
4. Evitar la introducción de alelos exóticos, provenientes de otras poblaciones.
5. Mantener aisladas las poblaciones cuya condición natural es esa.

Adicionalmente, Rodríguez (2008) recomendó no coleccionar la totalidad de las semillas en un árbol para respetar los procesos ecológicos y favorecer la regeneración natural.

Las características que deben considerarse en el momento de seleccionar a los árboles padres dependen del objetivos de la futura plantación: para la producción de madera se debe considerar la edad del arbolado; árboles jóvenes o muy viejos producen un gran número de semillas infértiles, el tamaño de copa (1/3 de la longitud total del árbol) indican una mayor producción de semilla, en general el porte y vigor del árbol (fuste recto, no bifurcados ni torcidos) (Muñoz *et al.*, 2011). Para cada especie se debe conocer la periodicidad de la producción de semilla (identificar años semilleros), y el estado fitosanitario de los árboles, arboles plagados o enfermos producen semilla de baja calidad y en poca cantidad. Si el objetivo es producción de leña no se requieren arboles rectos, sino, arboles con abundantes ramas y alta capacidad de rebrote.

El Sistema de Información para la Reforestación²⁷ ha generado fichas técnicas con datos de las características ecológicas y biológicas de 144 especies (nativas y no nativas) que se utilizan en los proyectos de restauración apoyados por la CONAFOR (Anexo 1), es evidente la necesidad de realizar mayor investigación enfocada a especies nativas, ya que en algunos casos el contenido de las fichas es insuficiente. Para la selección de árboles padres se requiere contar con información referente a: si la planta es monoica o dioica, época de floración, época de fructificación, época de colecta de semilla, rendimiento de semilla por cono, fruto o planta, tipo de semilla, número de semilla por Kg y ciclo semillero. También es recomendable generar fichas de la etapa fenológica de las especies²⁸.

Prieto y López (2006) identifican cuatro principales fuentes de semilla: rodales naturales, rodales semilleros, áreas semilleras y huertos semilleros.

Rodales naturales: son cualquier sitio del bosque donde existe la especie de interés. La selección de los arboles únicamente considera la calidad fenotípica. No se asegura la calidad genética del arbolado y limita la ganancia genética en la progenie (Figura 44).

²⁷ <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/usuarios/fichas-sire>

²⁸ <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1290Manual%20para%20la%20identificaci%C3%B3n%20y%20establecimiento%20de%20Unidades%20productoras%20de%20Germoplasma%20Forestal.pdf>

Los siguientes tres tipos de fuentes de semilla requieren cierto nivel de manejo técnico. La dificultad y el grado de especialización requeridos se incrementan en las áreas semilleras y en los huertos semilleros.

Rodales semilleros: son rodales naturales que sobresalen fenotípicamente en relación al resto de los rodales de una región y que se destinan a la producción temporal de semilla. Este tipo de rodales permiten que se obtenga una ganancia genética del 3 al 5 % en volumen.

Áreas semilleras: son rodales con árboles superiores que poseen árboles de alta calidad fenotípica, donde los árboles fenotípicamente inferiores son seleccionados para garantizar la producción de semilla de mejor calidad genética (5 a 8 %). Estas áreas requieren que la selección de los individuos se realice bajo criterios técnicos.

Huertos semilleros: son plantaciones forestales establecidas por medio de semillas o clones provenientes de árboles selectos, logrando una ganancia genética del 30 al 50 % al plantar la progenie. Al igual que en el anterior, el gestor debe realizar el manejo de los huertos.

De acuerdo con Kanninen *et al.* (1990) citado por Prieto y López (2006) las semillas se clasifican en base a su origen:

- a. Semillas élite: son semillas producidas en huertos semilleros, con superioridad genética comprobada en uno o más caracteres a través de ensayos de progenies.
- b. Semillas selectas: son semillas provenientes de huertos semilleros no probados, de áreas semilleras o árboles fenotípicamente superiores con características mejores que la media de la población.
- c. Semillas identificadas: son semillas originadas de masas naturales o plantaciones de buena calidad (rodales semilleros, rodales naturales sin tratamiento y semillas de frentes de corta, con identificación de especies y con una descripción exacta del sitio de colecta).
- d. Semillas no clasificadas: son semillas colectadas sin técnica, de cualquier arbolado, sin detallar origen y en ocasiones sin especificar especie.



Figura 44. Rodal natural de *P. durangensis* en Chihuahua (UPGF) de la CONAFOR, 2012.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2014).

Para el caso de *Agave* sp. Muñoz *et al.* (2014) señalan que un rodal debe cumplir las siguientes características; rodales con alta densidad de población, vigor, porte, buena área de copa y edad de 8, 9 y 10 años. Las plantas semilleras deben estar libres de plagas o enfermedades, vigorosa, buena altura y área foliar superior a la media de la población.

7.1.1.1. *Colecta de semilla*

La FAO²⁹ describe cuatro métodos de recolección de semilla: a) recolección del suelo de los frutos o semillas caídas; b) recolección de las copas de árboles cortados, c) recolección de árboles en pie a los que se puede acceder desde el suelo; d) recolección de árboles en pie a los que se accede trepando.

Recolección del suelo de los frutos o semillas caídas: se colectan los frutos o semillas que han caído de forma natural, por sacudimiento manual, sacudimiento mecánico.

²⁹ <http://www.fao.org/docrep/006/ad232s/ad232s04.htm>

Recolección de las copas de árboles cortados: mediante este método es posible coleccionar grandes cantidades de semilla, consiste en sincronizar la recolección de la semilla con las cortas comerciales normales.

Recolección en árboles en pie con acceso desde el suelo: en el caso de los arbustos o árboles de ramas bajas, el recolector tiene acceso directo a los frutos de las ramas estando de pie en el suelo. Para los casos en que las ramas están fuera del alcance del brazo humano, existen diversas herramientas de mango largo con las que el recolector puede llegar a los frutos desde el suelo. Pueden utilizarse varas terminadas en gancho, rastrillos, sierras, cuchillos, o tijeras de podar para arrancar o cortar los frutos.

Recolección en árboles en pie a los que se accede mediante trepa: en estos se requiere escalar el árbol, para ello, se utiliza una gran variedad de equipo, los más usados son las espuelas que se fijan a las botas del trepador, son un sistema ligero y hace más segura y eficiente la escalada. La ligereza de las espuelas (menos de 1 kg el juego) hace que su uso esté especialmente indicado en los rodales de difícil acceso en regiones sin carreteras, donde todo el equipo debe transportarse a pie. La longitud óptima de la espuela depende del tipo de corteza de que se trate, las espuelas más comunes miden de 5 a 9 cm.

Para las alturas comprendidas entre 8 y 40 m es recomendable utilizar escaleras verticales en varias secciones, ya que constituyen un método seguro y cómodo para subir por el tronco hasta la copa viva. Las escaleras desmontables pueden utilizarse sin riesgo alguno de dañar el árbol. Su manejo puede ser incómodo en rodales en los que la cubierta de copas o el subsuelo son densos, y son mucho más pesadas para transportar que las espuelas.

La bicicleta de escalador es un aparato para subir hasta la copa viva de árboles rectos y de gran altura que no tienen ramas. Desde el punto de vista del transporte, es más ligera que las escaleras desmontables, pero más pesada que las espuelas de trepa. No produce daños en el árbol. Su uso está recomendado en fustes cuyo diámetro oscila entre 30 y 80 cm.

En el caso de México, es común que la trapa de árboles se realiza por personas cuya capacidad de trepar les permite realizarlo únicamente con arneses y cuerdas tipo alpinista.

Para definir la época de colecta es recomendable realizar recorridos de campo para identificar las etapas reproductivas de la especie.

7.1.1.2. Manejo de la semilla.

Diversos autores como FAO (1991), Trujillo (1995), Oliva *et al.* (2014) recomiendan que posterior a la cosecha se efectúen las siguientes actividades:

Prelimpieza. Consiste en retirar impurezas como piedras, pedazos de ramas, hojas y cortezas.

Presecado. En el caso de conos o vainas deben ser después de su colecta ya que son retirados del árbol cerrados y el contenido de humedad es alto.

Secado. Tiene como finalidad inducir la apertura de las valvas, vainas o escamas para facilitar la extracción de la semilla, el secado se puede realizar con la luz del sol o mediante hornos especiales que se regulan mediante un termostato.

Extracción. Posterior al secado se procede a la extracción de la semilla, para lo cual es recomendable utilizar cajones con mallas de diferente calibre de tal forma que permitan el paso únicamente de la semilla y no del fruto. En el fondo de los cajones, se debe colocar papel periódico u otro material que evite que la semilla caiga al suelo. La forma de extraer semilla puede ser golpeando los conos o abriendo la vainas.

Desalado. Aplica principalmente para semillas de coníferas y consiste en retirar el ala membranosa que cubre la semilla se puede realizar a mano o con máquinas diseñadas para este fin.

Limpieza y clasificación. Es la última etapa del proceso, consiste en retirar polvo, restos de escamas, semillas rotas, vanas, inmaduras o dañadas. La limpieza y clasificación se lleva a cabo por medio de tamices, por gravedad o por fuerza centrífuga, existen equipos que mediante corrientes de aire separan la semilla por tamaño y peso.

7.1.1.3. Tratamientos especiales

Muchas especies tienen semillas que presentan cubiertas que impiden el paso de agua y oxígeno prolongando su germinación, para asegurar una alta y rápida germinación es necesario aplicar algún tipo de tratamiento previo a la siembra.

Tratamiento con agua: consiste básicamente en someter a las semillas a remojos en agua fría, tibia o caliente, la temperatura y el tiempo de exposición es variable dependiendo de la especie y el tiempo de colecta. La temperatura para el remojo en agua caliente se considera una temperatura cercana a los 77 °C, para el remojo en agua fría esta debe estar

cercana al punto de congelación y cuando se utiliza agua tibia debe oscilar entre 30 y 50 °C, existen pocos casos en donde se requiera poner la semilla en agua hirviendo (es poco recomendable ya que la semilla puede sufrir daño) (FAO, 1991).

Escarificación en ácido: consiste en sumergir la semilla en ácido sulfúrico o nítrico a altas concentraciones (80 a 90 %), para la mayoría de las especies se requieren tiempos de 15 a 60 minutos de inmersión, después es necesario lavar muy bien la semilla para remover residuos que pueda disminuir la viabilidad de la semilla (FAO, 1991).

Escarificación física: consiste en raspar la cubierta de las semillas con lijas, limas o quebrarlas con un martillo o pinzas. Si es a gran escala se utilizan maquinas especiales como tambores giratorios recubiertos en su interior con papel lija, o combinados con arena gruesa o grava.

Estratificación: este tratamiento se utiliza para romper la latencia fisiológica, y consiste en colocar las semillas entre estratos que conservan la humedad, puede ser arena, turba o vermiculita, en frío o calor. La estratificación fría es aquella donde se mantienen las semillas a temperaturas de 4 a 10 °C, la estratificación cálida, esta se basa en la necesidad de las semillas de estar sometidas a altas temperaturas (22 a 30 °C) para poder germinar (Varela y Arana, 2011).

7.1.2. Viveros con producción destinada a actividades de conservación y restauración

La zonificación forestal es uno de los ocho instrumentos técnicos de la política nacional forestal. En ella, se identifican, agrupan y ordenan los terrenos forestales y preferentemente forestales. Se han definido tres categorías de la zonificación forestal: I. Zonas de conservación y aprovechamiento restringido o prohibido, II. Zonas de producción y III. Zonas de restauración, esta última se define como; terrenos de aptitud forestal dedicados a otros usos o que están en proceso de degradación por incendios, plagas, y otros factores. Incluyen a los terrenos con riesgos de erosión evidente y se dividen en: a) Terrenos forestales con degradación alta, b) Terrenos preferentemente forestales con degradación alta, c) Terrenos forestales o preferentemente forestales con degradación media, d) Terrenos forestales o preferentemente forestales con degradación baja y e) Terrenos forestales o preferentemente forestales degradados que se encuentran sometidos a tratamientos de recuperación forestal.

Tomando como base la categoría de zonas de restauración, la distribución de viveros y la ubicación de predios apoyados por la CONAFOR en 2014, se procedió analizar la relación de estos tres elementos. Como se puede apreciar en la Figura 45, aparentemente existe una

buena distribución espacial de los viveros respecto a los predios apoyados, sin embargo no se considera la topografía y las condiciones de las carreteras por donde la planta debe ser trasladada. Del total de predios apoyados en 2014, 38.92 % se encontró a más de 100 km de distancia del vivero más cercano, lo que representa tiempos de traslados superiores a tres horas, incrementando el estrés y daños mecánicos en la planta. De igual forma, se aprecia que el establecimiento de los viveros no toma en cuenta las áreas catalogadas como zonas de restauración.

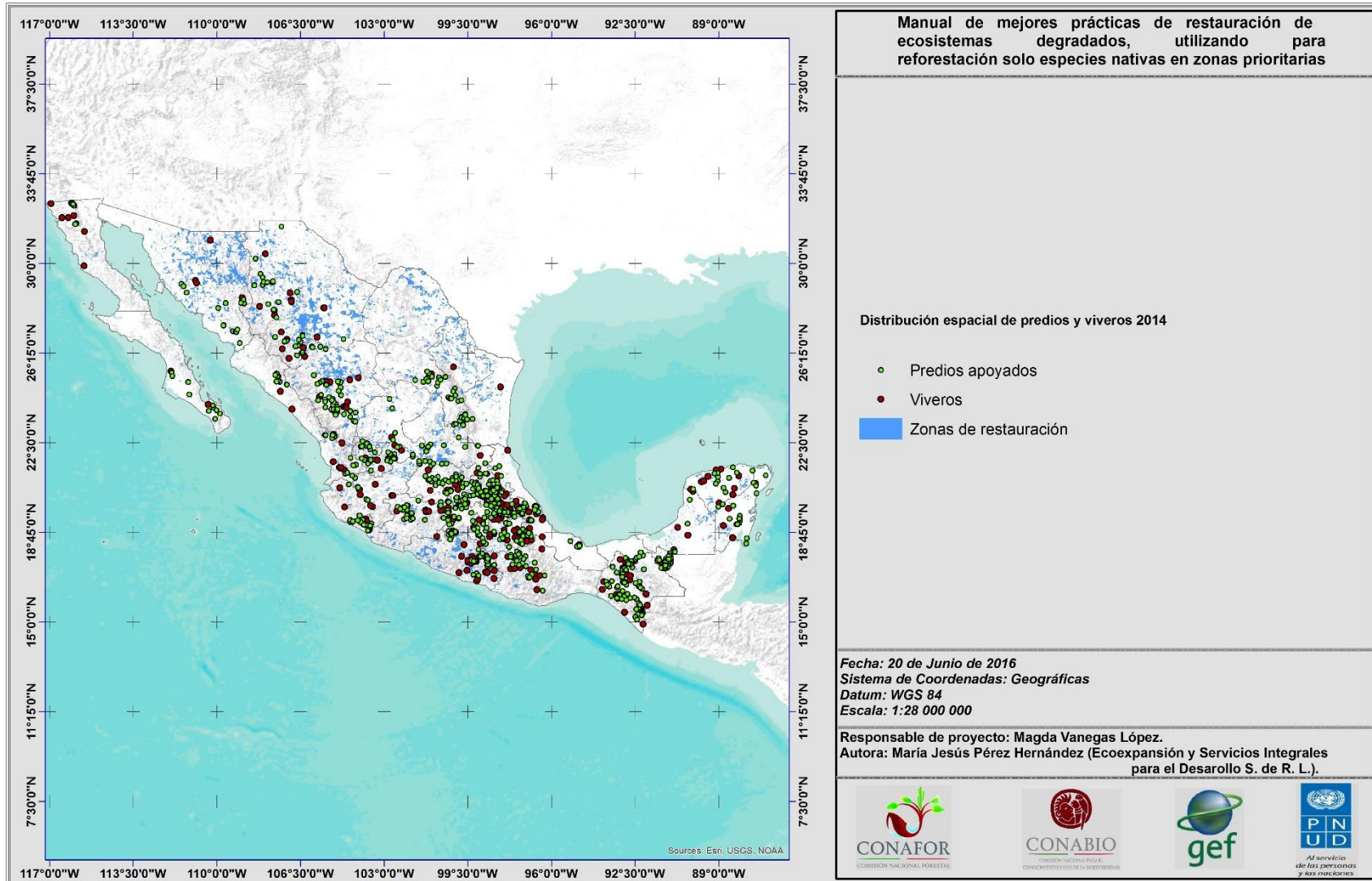


Figura 45. Distribución espacial de predios y viveros 2014, y las áreas catalogadas como de restauración de acuerdo con la zonificación forestal.

Por lo anterior, la planificación de actividades de restauración debe formar parte de una estrategia de mediano plazo, en donde la definición de áreas prioritarias considere diversos aspectos de producción de planta (especies, disponibilidad de semillas, ubicación de fuentes de germoplasma, ubicación óptima de viveros, etc.). Para realizar la planificación de la producción de planta, se puede utilizar programación lineal; esta herramienta busca la asignación eficiente de los recursos, que permite maximizar las utilidades (en este caso, garantizar la calidad de la planta y reducir el estrés) y minimizar los costos (principalmente del transporte de planta o de insumos) en función de las restricciones propias (ubicación de los sitios, vías de acceso, fuentes de agua, etc.).

La Norma Mexicana para la Certificación de la Operación de Viveros Forestales (NMX-AA-170-SCFI-2015³⁰) establece “... las especificaciones y los requisitos mínimos para obtener la certificación de operación de viveros forestales, para la producción de planta con estándares de calidad, que contribuyan a incrementar los porcentajes de supervivencia y desarrollo en acciones de restauración, reforestación y en plantaciones forestales...”. En el apéndice C se presentan los requisitos mínimos de calidad que las plantas de las especies forestales más utilizadas con fines de restauración y conservación deben cumplir, entre ellos características del contenedor (volumen mínimo de la cavidad y espaciamiento) o de las bolsas de polietileno (dimensiones y espaciamiento); la edad, la altura y el diámetro mínimo. Rodríguez (2008) planteó otro tipo de atributos morfológicos que pueden ser utilizados como parámetros de calidad: el diámetro del cuello de la raíz, número abundante de acículas secundarias (en el caso de coníferas), sistema radical fibroso, baja relación altura/ diámetro, arquitectura de la raíz, nivel de micorrización, el estado fitosanitario, y algunos índices morfológicos como el índice de esbeltez y el índice de Dickson.

Un factor esencial en la producción de planta es la asesoría técnica de calidad. Si bien en la práctica, muchos productores han adquirido experiencia para cultivar plantas forestales bajo ciertos estándares de calidad y la NMX AA-170 ha sido un progreso, los avances en la investigación podrían coadyuvar a mejorarla. En México, instituciones como el Colegio de Postgraduados, el INIFAP, la Universidad Autónoma Chapingo, la Universidad de Nuevo León y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, entre otras, desarrollan investigación para el desarrollo de sustratos con materiales locales (a bajo costo), la fertilización, el uso de envases con distintas características, el mejoramiento genético y técnicas para la producción intensiva. Por ello, sería conveniente establecer convenios de colaboración dirigidas a que las instituciones realicen investigación aplicada en temas de interés para el sector productivo y posteriormente, realizar programas de transferencia de

³⁰ En el momento de elaboración de este documento, la NMX se encuentra en la fase final de revisión para su próxima publicación en el Diario Oficial de la Federación.

tecnología. Promover el trabajo conjunto de la academia, del sector público y privado, sería una oportunidad para contribuir a mejorar la gobernanza del sector forestal del país.

7.1.2. Costos de producción de planta

La estimación de costos de todo proyecto de restauración forestal debe incluir la cuantificación de los costos de producción de planta, o en su defecto, de su adquisición. En la obra “Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor” (Landis, *et al.* 2014) se recomienda que la decisión de establecer un vivero propio haya considerado antes la posibilidad de adquirir planta en el mercado. Si se determinó una mayor conveniencia de producir la planta (ya sea por cuestiones económicas, de calidad o incluso, por la disposición de la (s) especie (s) de interés) debe considerarse que los costos de producción del vivero al menos incluyan los siguientes rubros: Insumos para propagación (contenedores, sustrato, malla sombra, semilla, cubierta para semillas, fertilizante, plaguicidas); Otros insumos (Energía eléctrica, combustible para calefacción, servicios y arrendamientos); y mano de obra (personal de tiempo completo y personal de tiempo parcial).

En la evaluación de costos de producción de planta en viveros forestales que abastecen proyectos de plantaciones forestales comerciales (Velázquez, *et al.*, 2011) se indica que “el costo máximo por planta es de \$3.57, y el más bajo de \$1.63, los cuales corresponden a planta de ciclo largo producida en contenedores de plástico con cavidades intercambiables (tubetes) de 250 ml, y a planta de ciclo corto producida en contenedores de plástico con cavidades fusionadas, con volumen de 115 ml, respectivamente”. Tanto en plantaciones con fines de restauración como para plantaciones forestales, la planta producida en los viveros debe reunir características morfológicas y fisiológicas que permitan su sobrevivencia en campo. La principal diferencia en la producción de planta con estos dos objetivos es la adquisición de semilla: regularmente, las semillas para ser utilizadas con fines de restauración se colectan en rodales naturales.

De acuerdo con la información proporcionada por el personal de la CONAFOR, esta institución ya ha realizado la determinación de los costos de producción de planta en sistema intensivo (cuya producción representa más de 95 % de las plantas utilizadas en acciones de restauración) y en sistema tradicional (bolsa de polietileno). En el Cuadro 34, el Cuadro 35 y el

Cuadro 36 se muestran los costos unitarios de producción de planta por tipo de contenedor, mismos que han sido definidos por la CONAFOR para el ciclo de producción de planta 2016-2017. Como se puede observar, los ciclos de producción varían. La mayoría de las especies tropicales corresponden a ciclo corto (8-10 meses) y la mayor proporción de

las especies de clima templado a las de ciclo largo³¹. Básicamente, los géneros *Agave*, *Sabal*, *Yucca* y *Dasilirion* se producen a raíz desnuda. Como se puede observar, los costos de planta oscilan entre \$2.63 y \$5.72 (M.N.). El mayor costo de producción está vinculado con las especies de ciclo largo producidas en sistema tradicional y en bolsas de 20 X 30 cm.

Cuadro 34. Costos unitarios para la producción en charolas de poliestireno y plástico rígido.

Volumen de la cavidad (ml)	Tipo de ecosistema					
	Tropical Algunas especies de clima Templado Zonas áridas		Algunas especies de clima Templado		Especies de coníferas cespitosas de clima templado	
	8 - 10 meses		11 - 14 meses		15 - 18 meses	
	Poliestireno	Plástico rígido	Poliestireno	Plástico rígido	Poliestireno	Plástico rígido
150 – 160	2.63	2.61	2.89	2.87	3.35	3.33
161 – 180	2.77	2.72	3.03	2.98	3.49	3.44
181 – 200	2.90	2.84	3.16	3.10	3.62	3.56
201 – 220	3.00	2.92	3.26	3.18	3.72	3.64
221 – 310	n/a	n/a	n/a	n/a	4.09	3.89

Fuente: Gerencia de Reforestación de la CONAFOR.

Cuadro 35. Costo unitario para la producción en bolsa plástica.

Tamaño de la bolsa	Tipo de ecosistema			
	Algunas especies de clima templado Tropical Zonas áridas	Algunas especies de clima templado	Especies de coníferas cespitosas de clima templado	
			8 - 10 meses	11 - 12 meses
13 x 20	2.42	2.47	2.52	2.62
10 x 24	2.74	2.79	2.84	2.94
13 x 25	3.05	3.10	3.14	3.25
18 x 30	4.16	4.21	4.26	4.36
20 x 30	5.53	5.57	5.62	5.72

Fuente: Gerencia de Reforestación de la CONAFOR.

³¹ En caso de requerir información de los criterios para alguna especie en particular, se sugiere referirse a la NMX 170.

Cuadro 36. Costo unitario para la producción a raíz desnuda.

Ciclo de producción	Especies de zonas áridas	
	Periodo de producción	Costo unitario (\$)
2016 - 2017	15 - 18 meses	2.35

Fuente: Gerencia de Reforestación de la CONAFOR.

7.1.3. Técnicas de plantación

Como una fase previa a la reforestación es necesario adecuar el sitio de plantación de tal forma que se reúnan las características deseables que permitan que la planta prospere, pues la ausencia de estas actividades puede incidir negativamente sobre los resultados de la plantación (Figura 46).



Figura 46. Alta mortandad por la falta de preparación del suelo.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2012).

Una de las actividades más importantes es la limpia del terreno, la cual consiste en eliminar parte de la vegetación arbustiva y herbácea que representen factores adversos en el establecimiento y desarrollo de la planta, por ejemplo, que compitan por luz, agua y nutrientes.

La preparación del suelo es otra actividad que puede proveer ventajas significativas al momento de establecer la reforestación, estas labores se pueden realizar de forma manual o mecanizada. La preparación manual consiste básicamente en aflojar o remover la tierra mediante el uso de azadón, pala, pico, barreta, entre otros. La preparación mecanizada se realiza mediante el uso de implementos agrícolas (rastra, subsolador, ripper, etc.) tirados por tracción animal o maquinaria (Figura 47).



Figura 47. Roturación del suelo previa a la plantación.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2012).

En los últimos años, la CONAFOR ha buscado conjuntar las actividades de reforestación con las obras de conservación y restauración de suelos, con el propósito de aumentar la sobrevivencia. Las obras de conservación de suelo que ayudan en mayor grado al establecimiento de las reforestaciones son las terrazas de formación sucesiva, terrazas individuales, zanjas trincheras, sistema zanja bordo, bordos en curvas a nivel y roturación; la razón principal es que el diseño y construcción de estas obras implican la remoción del suelo y permiten almacenar agua. En la Figura 48 se muestra un ejemplo de reforestación en curvas a nivel.



Figura 48. Plantación de *Opuntia* sp en bordos en curvas a nivel.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2012).

El diseño de la plantación implica definir el sitio específico en donde se establecerá la planta. Además de considerar como objetivo primordial la restauración de áreas degradadas, deben tomarse en cuenta otros objetivos que pueden ser de interés para los dueños de las áreas forestales; por ejemplo, uso forrajero, medicinal, leña, entre otros. En función de éstos y de las condiciones del terreno (pendiente, pedregosidad, etc.), además de los requerimientos en espacio que demande la especie, dependerá la densidad de plantación.

El diseño de plantación puede ser en marco real, tres bolillo o siguiendo las curvas a nivel (CONAFOR, 2010 y 2011).

Marco real: la plantación se realiza formando cuadros o rectángulos respetando la misma distancia entre hileras y filas. Este diseño es recomendable en terrenos planos.

Tres bolillo: consiste en establecer la planta formando triángulos equiláteros: la distancia entre hileras y filas es la misma; sólo se alterna la proyección del espacio en cada fila subsecuente. Se puede realizar en terrenos planos o con pendientes poco pronunciadas.

Diseño en curvas a nivel: cuando se tienen pendientes superiores al 20 % se recomienda plantar siguiendo las curvas de nivel, estableciendo las distancias entre planta en función de las condiciones del suelo y los objetivos de la plantación (Figura 49).



Figura 49. Plantaciones siguiendo las curvas a nivel.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2012).

Para realizar la plantación se utilizan herramientas que permiten realizar hoyos con un tamaño suficiente para introducir la parte subterránea de la planta; por ejemplo: pala, pico, barreta, coa, cava hoyos, etc. Después de retirar la planta de su contenedor o bolsa es recomendable observar la condición de la raíz principal, si se encuentra enrollada se debe cortar un centímetro del fondo de la bolsa y hacer cortes superficiales verticales para eliminar raíces secundarias enrolladas. En la Figura 50 se muestra un ejemplo de mortandad causada por defectos en la raíz.



Figura 50. Mortandad de la planta en campo por raíz enrollada.
Fotografía: UACH y CONAFOR (2012).

8. Densidad de Plantación

En silvicultura, la densidad se define como el grado de ocupación del espacio de crecimiento en un rodal (Musálem y Fierros, 1996), y se puede expresar en número de árboles por unidad de superficie. El manejo de la densidad en la silvicultura se realiza con el objetivo de tener una mayor producción controlando la duración de los turnos forestales (Fujimori, 2001).

La CONAFOR recomienda la distancia entre plantas considerando el espaciamiento que la especie demandará al ser adulta, por lo cual, en etapas juveniles la plantación debe tener por lo menos el doble de densidad que cuando es adulta (CONAFOR, 2010).

En términos de restauración, la densidad de plantación debe establecerse considerando las condiciones del paisaje (nivel de fragmentación), la topografía del terreno y la cobertura vegetal existente.

Considerar al paisaje como unidad de planeación al momento de realizar acciones de restauración, permite identificar remanentes de vegetación nativa fuentes de germoplasma

viable para propiciar restauración pasiva. En este contexto, a mayor cercanía a parches de vegetación es recomendable plantar a una menor densidad.

Partiendo de los criterios establecidos para el manejo de cuencas (Cotler y Priego, 2004), la pendiente³² del terreno juega un papel muy importante al momento de definir las densidades de plantación. A mayor pendiente, los costos de preparación del terreno, traslado de la planta, la plantación y el mantenimiento de la reforestación se elevan, propiciando que los trabajos no se efectúen de forma adecuada. En predios con topografía accidentada (> 22 grados) es recomendable realizar las plantaciones siguiendo las curvas a nivel. En estos casos, la densidad de plantación quedará definida por la pendiente del terreno y por las condiciones de suelo; a mayor densidad existe una mayor competencia por agua y nutrimentos, por lo cual, en suelos pobres y con escasez de humedad es recomendable sembrar a bajas densidades. La CONAFOR recomienda diferentes densidades de plantación en función del ecosistema (Cuadro 37).

Cuadro 37. Valores de la densidad promedio recomendada por la CONAFOR para cada tipo de ecosistema.

Ecosistema y Densidad por hectárea					
Templado		Tropical		Árido y semiárido	
Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
825	1100	500	750	855	1045

Fuente: Reglas de Operación PRONAFOR (2016).

Estos valores se consideran adecuados en los predios sin cubierta forestal, pero en aquellos que cuenten con remanentes de vegetación natural se recomienda un manejo distinto. Debido a que el porcentaje de cobertura vegetal de los diferentes estratos es un indicador de la calidad del suelo, la humedad y de la posible disponibilidad de germoplasma de especies nativas, desde el enfoque aquí planteado, a mayor cobertura vegetal el grado de intervención debe ser menor.

Con este propósito, es útil recordar el mecanismo para estimar los Índices de Estructura Vertical y Horizontal presentados en la sección 6.5.1.2. y 6.5.1.3. del presente documento, mismo que se indica a continuación.

$$IEV = \sum_{j=1}^3 A_j V_j$$

³² En un estudio realizado en Michoacán, donde se probaron cuatro especies de pinos en áreas degradadas (*Pinus greggii*, *P. cembroides*, *P. devoniana* y *P. pseudostrobus*) Gómez-Romero *et al.*, 2012 encontraron que incluso, la pendiente tiene un efecto positivo sobre la sobrevivencia y negativo sobre el crecimiento en diámetro.

Donde:

IEV= Índice de estructura vertical

λ_j = Ponderador para el j-ésimo estrato

V_j= Puntaje obtenido en el j-ésimo estrato.

Como el lector recordará, el puntaje asignado para evaluar la estructura vertical de las áreas sujetas a acciones de conservación está en función del tipo de ecosistema y el porcentaje que representan las distintas clases de altura de los individuos presentes en el área a restaurar (para mayor detalle, ver Cuadro 24). El IEV asigna un mayor puntaje a las áreas cuyo arbolado existente representa más del 60 % en el estrato I, del 31-60 % en el estrato II y del 0-30 % en el estrato III. Así, las posibles combinaciones de resultados podrían agruparse en tres conjuntos:

- a) $IEV = [3 - 6]$
- b) $.IEV = [7 - 9]$.
- c) $.IEV = [10 - 12]$

Por su parte, el IEH tiene un rango de $[0 - 12]$, cuyos posibles valores podrían agruparse de la siguiente forma:

- a) $IEV = [0 - 4]$
- b) $.IEV = [5 - 8]$.
- c) $.IEV = [9 - 12]$

Al ser combinada la información del IEV con el IEH se tendrá una mejor idea de la condición del predio y con ello, se podrá manejar la densidad de plantación.

$$DPP = \frac{IEV + IEH}{2}$$

Donde:

DPP= Densidad de plantación en el predio= IEV

IEV= Índice de Estructura Vertical

IEH= Índice de Estructura Horizontal

Se sugiere tomar como base los siguientes valores de referencia para manejar la densidad de plantación en función de las condiciones del IEV y el IEH, es decir, de la DPP estimada:

Cuadro 38. Valor de la densidad de plantación ajustada en función de las condiciones de estructura vertical y horizontal del predio.

Valor obtenido de la DPP	Porcentaje de ajuste de la densidad de plantación recomendada por la CONAFOR	Observaciones
0-3	No se recomienda reforestar	En estas condiciones, se sugiere realizar prácticas de restauración específicas para atender los problemas puntuales (por ejemplo, obras de conservación de suelos) o actividades de manejo (apertura de brechas cortafuego, exclusión de ganado, cercado de áreas de regeneración natural, etc.)
4-6	20- 50 % de la densidad recomendada	Realizar diversas actividades de restauración forestal en sitios específicos que así lo requieran. Utilizar plantas del estrato arbustivo como nodrizas para favorecer el establecimiento de la especie forestal de interés.
7-9	51-70 % de la densidad recomendada	
10-12	71-100 % de la densidad recomendada	

Se considera que hacer estos ajustes en la densidad de plantación permitiría mejorar la eficiencia de las acciones de reforestación.

9. Propuesta para ubicar los sitios piloto

Con el propósito de generar una propuesta para ubicar los sitios piloto con el objetivo de ejecutar acciones de reforestación con especies nativas con fines de restauración se revisó el listado de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's) de la CONABIO. Se consultaron las fichas técnicas de cada RTP y se seleccionaron 10, tomando como criterios las características territoriales y ecosistémicas.

A partir de la información de las fichas técnicas, los criterios ecológicos y ambientales que se juzgaron más importantes fueron los siguientes:

1. Integridad ecológica funcional
2. Presencia de endemismos
3. Pérdida de la superficie original
4. Nivel de fragmentación
5. Presión sobre especies clave
6. Importancia del área en los servicios ambientales

Además, los criterios geográficos que se consideraron fueron:

1. Número de entidades que se abarcan en la RTP
2. Número de municipios incluidos en la RTP
3. Tipos de clima
4. Tipos de suelo
5. Ecosistemas presentes

Los criterios sociales y culturales se valoraron a partir de las fichas técnicas y de las experiencias o proyectos encontrados en cada región (incluye intervenciones gubernamentales y sociales). Dichos criterios fueron:

1. Estado del conocimiento biológico
2. Aplicación de políticas de conservación (gubernamentales y sociales)
3. Organización social
4. Presencia de grupos étnicos
5. Experiencia en proyectos de restauración forestal
6. Accesibilidad a las comunidades (Tiempos de traslado, infraestructura carretera y nivel de vinculación social). Aunque esta información no proporciona datos sobre la operatividad de la reforestación (por ejemplo, la cercanía a viveros) representa la posibilidad de vislumbrar el futuro establecimiento de la infraestructura necesaria.

A cada uno de estos criterios se asignó una calificación entre 1 y 3, en función de los atributos señalados en la memoria de cálculo (misma que se presenta como anexo de este documento). La matriz está estructurada en tres partes. En la hoja 1 se presentan los criterios geográficos y ecológicos, en la 2 los criterios sociales y culturales y en la 3 se enlistan las tres regiones con los mayores puntajes.

La calificación máxima posible para una RTP fue el resultado de multiplicar el número de criterios por 3 (el puntaje máximo). El puntaje efectivamente obtenido se contrastó con el valor de referencia y el resultado se multiplicó por 100 de la siguiente manera:

$$\text{Calificación para la RTP en el criterio "X"} = \frac{\text{Puntaje obtenido}}{\text{Puntaje máximo}} \times 100$$

Las calificaciones para los criterios empleados se promediaron y el mayor puntaje lo obtuvieron las siguientes RTP's:

- 1.- Sierra Gorda-Río Moctezuma
- 2.-Valle de Tehuacán-Cuicatlán
- 3.- Sierra de Chincua

La ubicación geográfica de las áreas seleccionadas para establecerlos sitios piloto se presentan en la Figura 51.

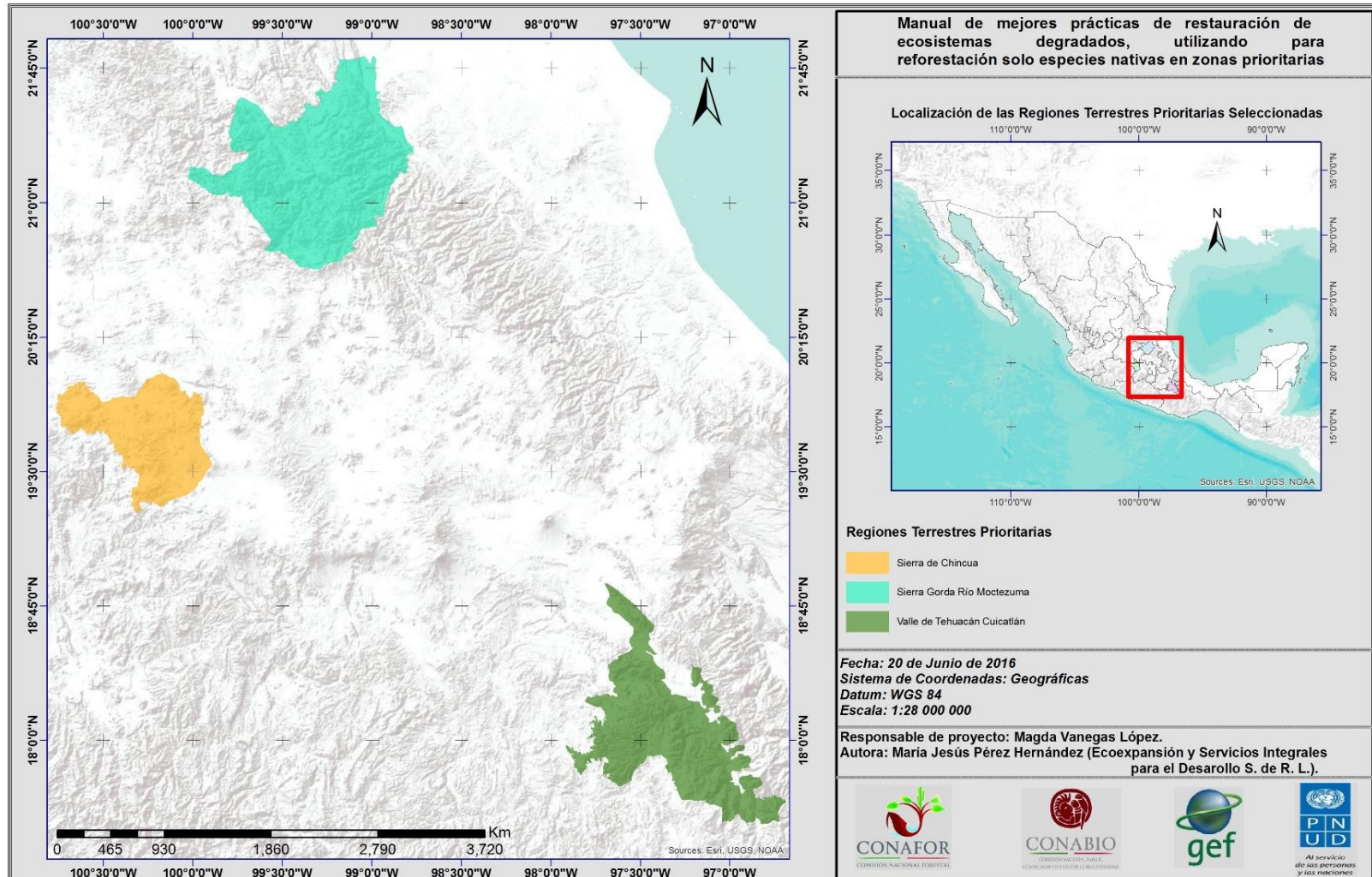


Figura 51. Ubicación geográfica de las RTP's seleccionadas para realizar sitios piloto con especies con plantas nativas.

10. Evaluación y Monitoreo de las plantaciones

La evaluación de las plantaciones realizadas con fines de restauración representa una etapa crucial para determinar el cumplimiento de los objetivos en el proceso de restauración forestal. Actualmente, la CONAFOR realiza un proceso de evaluación de los predios apoyados en el ejercicio fiscal inmediato anterior. Se han definido una serie de indicadores para medir el éxito de los trabajos de restauración. Como parte de los indicadores de restauración utilizados en el Monitoreo de los apoyos otorgados en 2014 se tuvieron:

1. Porcentaje de sobrevivencia en campo de la reforestación.
2. Porcentaje de sobrevivencia con relación a la entrega de plantas
3. Porcentaje de plantas faltantes
4. Porcentaje de superficie plantada
5. Índice de establecimiento de especies nativas
6. Porcentaje de apoyos que reforestaron dentro del periodo óptimo que indica el calendario para la reforestación 2014
7. Causas de muerte de las plantaciones

Como se puede observar, estos indicadores permiten valorar el establecimiento de las plantas otorgadas en el marco de los apoyos de restauración bajo un enfoque poblacional, pero no brindan información específica sobre la recuperación de las áreas forestales intervenidas, principalmente en la recuperación de la estructura y función del ecosistema.

El Índice de Prioridad de Restauración puede brindar información para establecer la condición de los predios apoyados sin intervención (línea base) y posteriormente, establecer comparativos sobre los resultados obtenidos (con acciones apoyadas). Esta herramienta permitiría valorar integralmente la intervención. Cabe destacar que en el periodo de elaboración de este manual no se han realizado pruebas en campo para valorar el índice aquí propuesto, pero en una siguiente etapa se considera la posibilidad de realizar su aplicación práctica, valorar su pertinencia y en función de ello emitir recomendaciones para mejorar la evaluación y el monitoreo con un enfoque de restauración forestal.

11. Aspectos sociales de la restauración de ecosistemas forestales

Como se expuso en el apartado 4.3.1 del presente manual, la participación social es de suma importancia en los trabajos de restauración ecológica. Vincular el ambiente con los diferentes aspectos sociales (economía, cultura, demografía y política) puede favorecer la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

El deterioro ambiental es el reflejo de la interacción entre la sociedad y los recursos naturales del territorio, manifiesta las formas de producción y tasas de extracción. El deterioro ambiental trae como consecuencia la escasez de recursos, pobreza y desigualdad social.

Sánchez *et al.* (2005) expone siete elementos que permiten analizar el estado de las condiciones sociales existentes en un territorio y las relaciones, tendencias y posibles puntos de conflictos que pueden influir en la restauración ecológica:

1. Historia: es recomendable conocer el aspecto histórico regional que es producto de las decisiones pasadas, la historia de la comunidad, la cultura y la historia de la degradación ambiental, que puede ser producto de procesos de varios años o de un accidente reciente.
2. Indicadores sociodemográficos: se debe considerar las tendencias de la población y las condiciones de pobreza y desigualdad que hay al interior de una comunidad.
3. Actores y relaciones: Los actores son la pieza principal de la interpretación de la relación entre sociedad y territorio, estos actores lo conforman los habitantes de la localidad, funcionarios del gobierno federal o local, instituciones y organizaciones no gubernamentales, organizaciones campesinas, asociaciones, centros de investigación y grupos religiosos.
4. Derechos de propiedad, reglas de uso y normatividad: los derechos de propiedad se refieren a quién tiene legalmente la capacidad para poseer, comprar, vender y utilizar un recurso específico. La claridad en los derechos de propiedad se considera un factor detonante de la sustentabilidad. Las reglas son el núcleo de la sostenibilidad en el uso, manejo y restauración ambiental. Otro aspecto importante es el marco legal, para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales existen leyes federales en materia ambiental, forestal, agropecuaria, hídrica, de pesca y así como las normas oficiales mexicanas.
5. Políticas públicas: Entender la incidencia de las políticas públicas en el pasado y en la actualidad es otro factor crucial para lograr la restauración de los ecosistemas. El gobierno es un actor fundamental tanto en el deterioro como en la conservación del entorno y los recursos. A través de políticas públicas sectoriales se proveen

incentivos y restricciones para el uso, aprovechamiento y explotación de los recursos naturales, y el hecho de que no se actúe sobre una problemática.

6. Actividades productivas y mercados: Es necesario conocer de qué vive la gente y a qué dedica o dedicaba el área dañada que actualmente requiere restauración. Si la zona es considerada como el origen de una fuente de ingreso, los proyectos de restauración tendrán que considerar proveer de alguna fuente alternativa que supla dicho ingreso. Por otra parte, los mercados y la demanda externa de ciertos productos pueden tener un impacto importante.
7. Información: Es un factor determinante de la participación social, aquellos que tienen accesos a más y mejor información gozan de mayores posibilidades de participar e incidir en la toma de decisiones concernientes a políticas públicas, programas y proyectos tanto públicos como privados.

La restauración de áreas forestales debe ser diseñada con un enfoque flexible y adaptarse a las condiciones y características particulares de cada lugar en donde se desee aplicar. Es de vital importancia tomar en cuenta el conocimiento y las necesidades de la población local.

En un estudio realizado para los bosques tropicales secos de Veracruz, Suárez *et al.* (2011) determinaron las especies nativas que los pobladores locales identificaron como útiles para la restauración (especies con diversos usos: alimenticios, maderas, combustibles, útiles para la vida silvestre o para la construcción de viviendas rurales). Ellos concluyeron que los pobladores locales tienen mucho conocimiento sobre las funciones de los árboles en el paisaje y consideraron que 17 especies son las más aptas para iniciar un programa de restauración o reforestación en la zona de estudio. Señalaron que la población local posee conocimiento sobre técnicas de propagación; de éstas en los viveros locales sólo se producen dos: *Cedrela* sp. y *Tabebuia rosea*.

Por su parte, De Vente *et al.* (2016) realizaron un estudio con el objetivo de determinar cuáles son las claves del éxito en los procesos participativos de gestión ambiental. Como resultado exponen que lograr la participación de la sociedad es posible si se atienden los siguientes puntos: 1) seleccionar cuidadosamente a los participantes (que representen los intereses de la mayoría), 2) que la participación sea atractiva y fácil, 3) fomentar la confianza (generar un ambiente de respeto mutuo, que todos los participantes pueden expresarse libremente), 4) proporcionar a los participantes información y el poder de decisión, 5) el uso de la facilitación profesional independiente y los métodos estructurados de captación de información, 6) promover el compromiso a largo plazo (que los participantes se sientan parte del proyecto), y 7) adaptar el lenguaje, la ubicación y el diseño en función del entorno de los participantes (tener referencia de los problemas existentes y fijar metas claras).

Debido al dinamismo natural y social, hoy día es necesario adoptar nuevas técnicas de desarrollo y diferentes visiones del manejo de los ecosistemas (por ejemplo; enfoques multicriterio participativos, el manejo adaptativo de ecosistemas, evaluar y monitorear la sustentabilidad del manejo de los recursos naturales, entre otras) las cuales permitirán un proceso de aprendizaje continuo que ayude a mejorar tanto la teoría como los modelos y que a su vez permitan replantear, corregir o ajustar los objetivos y las acciones de manejo.

Los avances en materia de restauración de ecosistemas forestales en nuestro país son considerables. En los últimos años, entre otras medidas, se han establecido mecanismos para mejorar la producción de planta y su adecuado transporte; se ha apoyado el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal, y las actividades de conservación y restauración de suelos se han realizado de manera conjunta a la reforestación; pero aún existen áreas de oportunidad. Si bien la mayor parte de las especies que se producen son nativas, es necesario gestionar la información para determinar si se está fomentando o no su traslocación. Otro punto es el número de especies utilizadas, debido a que en una plantación con fines de restauración, lo ideal sería utilizar especies que ayuden a recuperar la composición de las áreas (si bien ésta no es una restricción, sería deseable).

Thomas *et al.* (2014) señalaron que el éxito en la restauración de ecosistemas forestales con especies nativas (considerando que se recupera la capacidad de adaptación y evolución) requiere atención en la selección de especies, el abastecimiento de semillas, la creación de la conectividad a través de los paisajes y la construcción de capacidades adaptativas al cambio climático y recomendaron incluir indicadores del rol de la procedencia *in situ* y la diversidad genética, pues esto garantizaría la capacidad de adaptación a los cambios en el ambiente y reduciría la posibilidad de endogamia.

En el nivel de operación actual de la CONAFOR (un programa de aplicación con reglas centralizadas, mecanismos de operación diseñados a nivel nacional) y con las restricciones de recursos humanos y financieros existentes, manejar una amplia variedad de especies para la restauración se vislumbra como una meta difícil de alcanzar. Probablemente un camino para lograrlo sería que los proyectos de restauración se realicen con un enfoque “de abajo hacia arriba” a través de la participación de los pobladores locales en su diseño y de esta manera capitalizar su conocimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas, los mecanismos de propagación de las especies, además de contemplar el uso de diversas especies nativas cuyos usos sean de su interés.

Para lograrlo, será necesario fortalecer la organización de los dueños de las áreas forestales, la asesoría técnica, la producción de semillas de especies nativas, la investigación en materia de germoplasma, producción y transporte de planta y el desarrollo de técnicas adecuadas para restaurar las áreas forestales de nuestro país.

También sería importante retomar la idea planteada por Thomas *et al.* (2014) y generar protocolos que contengan consideraciones genéticas o la recomendación de Sáenz (2003) de establecer unidades de gestión de los recursos genéticos para conservar una muestra representativa de la variación genética dentro de cada especie con el propósito de evitar pérdidas de recursos forestales valiosos.

12. Literatura consultada

ACOSTA, Alejandra, SASTRE, Susana y RAMOS, Fernando (2010) Gestión forestal en Ixtlán de Juárez Oaxaca, México, México: Universidad de la Sierra de Juárez

AGUIRRE, Alfonso y MENDOZA, Roberto (2009) Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, pp. 277-318. En: Sarukhán, José (Coord. Gral.). Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. México: CONABIO.

ALDRICH, Mark and others (2004). Integrating forest protection, management and restoration at a landscape scale. WWF International, Gland, Switzerland. 20 p.

BARRALES, Edgar (2013) Balance de carbono y tasa de descomposición de mantillo y horizontes de fermentación de suelos forestales (tesis de maestría en ciencias). México: Colegio de Postgraduados.

BARTON, David y MERINO, Leticia (2004) La experiencia de las comunidades forestales en México. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C.

CARABIAS, Julia y otros (2010) Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CASTAÑEDA-DÍAZ, Saúl (2015) Sucesión ecológica en fragmentos forestales con vegetación secundaria en Españita, Tlaxcala (tesis de doctorado en ciencias forestales). México: Colegio de Postgraduados.

CEDEÑO, Heidi y PÉREZ-SALICRUP, Diego (2005) La legislación forestal y su efecto en la restauración en México, pp. 87-97. En: Sánchez, O.; Peters, E.; Márquez-H., R.; Vega, E.; Portales, G.; Valdez, M.; Azuara, D. (compiladores). Temas sobre restauración ecológica. México: Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C.

CERVANTES, Virginia, CARABIAS, Julia y ARRIAGA, Vicente (2008) Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental, pp. 155-226. En: Sarukhán, José (Coord. Gral.). Capital natural de México, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CHRISTENSEN, Norman L. Jr. (2014) An historical perspective on forest succession and its relevance to ecosystem restoration and conservation practice in North America, pp. 312-322. In: Forest Ecology and Management, vol. 330.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO) (2010) Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2010) Prácticas de reforestación. Manual básico. México.

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2011) Manual para la producción de árboles de Navidad. México.

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2014) Diagnóstico del Programa Presupuestario U036 PRONAFOR-Desarrollo Forestal 2014 (Consulta 20 de febrero de 2016)

http://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/Diagnostico/Diagnostico_2014/Diagnostico_2014_SEMARNAT_U036.pdf

CONNELL, Joseph H. y SLATYER, Ralph O. Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization, pp.1119-1144. In: The American Naturalist, vol. 111, nro. 982.

COTLER, Helena y PRIEGO, Ángel (2004) El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala, pp. 63-74. En: Cotler, Helena (comp.). El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA (USDA) (1999) Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Estados Unidos.

DE VENTE, Joris and others (2016) How does the context and design of participatory decision making processes affect their outcomes? Evidence from sustainable land management in global drylands, pp. 1-24. In: Ecology and Society, vol. 21, nro.2.

DINH, Hai and others (2012) More than just trees: Assessing reforestation success in tropical developing countries, pp. 5-19. In: Journal of Rural Studies, vol.28.

ESPINOSA David y otros (2008) El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. pp. 33-65. En: Sarukhán, José (Coord. Gral.). Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. México: CONABIO.

FAUSTINO, Jorge y JIMÉNEZ, Francisco (2000) Manejo de cuencas hidrográficas. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales.

FISCHER, Joern and LINDENMAYER, David B. (2007) Landscape modification and hábitat fragmentation: a synthesis, pp. 265-280. In: Global Ecology and Biogeography, vol.16, nro. 3.

FISHER, Brendan, TURNER, R. Kerry y MORLING, Paul (2009) Defining and classifying ecosystem services for decision making, pp.643-653. In: Ecological Economics, vol. 68, nro. 3.

FORMAN, Richard T. T. and GODRON, Michel (1982) Patches and Structural Components for a Landscape Ecology, pp. 733-740. In: BioScience, vol.31, nro.10.

FRANQUET, Josep (2005). Agua que no has de beber... 60 respuestas al Plan Hidrológico (Consulta: 30 de enero de 2016). (<http://www.eumed.net/libros-gratis/2005/jmfb-h/>)

FRIES, Andreas and others (2012) Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization, pp. 17-30. In: Agricultural and Forest Meteorology , vol. 152.

FRY, G. and others (2009) The ecology of visual landscapes: Exploring the conceptual common ground of visual and ecological landscape indicators, pp. 933-947. In: Ecological Indicators, vol. 9, nro. 5.

FUJIMORI, Takao (2001) Ecological and Silvicultural Strategies for Sustainable Forest Management. Japan: Elsevier.

GARCÍA-ALANIZ, Nashieli. y SCHMIDT, Michael (2012) Monitoreo de la degradación de los ecosistemas: un paso más allá de los enfoques actuales: Reporte de resultados y conclusiones del taller. México: Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C., Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Comisión Nacional Forestal y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

GERGEL, Sarah E. and others (2002) Landscape indicators of human impacts to riverine systems, pp. 118-128. In: Aquatic Sciences, vol. 64, nro. 2.

GRANADOS, Diódoro y LÓPEZ, Georgina Florencia (2000) Sucesión ecológica: dinámica del ecosistema. México: Universidad Autónoma Chapingo.

GUREVITCH, Jessica and PADILLA Dianna K. (2004) Are invasive species a major cause of extinctions? pp. 470-474. In: Trends in Ecology & Evolution, vol. 19, nro.9.

HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, Joel y otros (2007) Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. *australis* en Hidalgo, México, pp. 241-249. En: Rev. Fitotec. Mex. vol., 30, nro. 3.

HOBBS, R. J. and WILSON, A. M. (1998) Corridors: Theory, Practice and Achievement of Conservation Objectives, 265-279. In: Dover, J. W. and Bunce, R. G. H. (eds.). Key concepts in Landscape ecology. Preston (UK): IALE.

HUTTO, Richard L., FLESH, Aaron D. y FYLLING, Megan A. (2014) A bird's-eye view of forest restoration: Do changes reflect success?, pp. 1-9. In: Forest Ecology and Management, vol. 327.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI) (2013) "Estadísticas a propósito del día mundial forestal". Aguascalientes: INEGI.

JARDEL, Enrique J. (2015) Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. Jalisco: Comisión Nacional Forestal.

KUPFER, John (2006) National assessments of forest fragmentation in the US, pp. 73-82. In: Global Environmental Change, vol. 16, nro.1.

LA MANNA, Ludmila y otros (2007) Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región Andino-Patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo, pp. 179-188. En: Cl. Suelo (Argentina), vol. 25, nro. 2.

LANDIS, Thomas y otros (2004) Planeación, establecimiento y manejo del vivero. Volumen uno. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Manual agrícola. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Portland, Oregon, Estados Unidos de Norteamérica.

LEAL-NARES, Oscar y otros (2012) Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio, pp. 1152-1170. En: Revista Mexicana de Biodiversidad, vol. 83.

LEYVA, Ángel (2016) Sistema de cómputo para el procesamiento y análisis de datos del inventario nacional forestal y de suelos (tesis de doctorado en ciencias forestales). México: Colegio de Postgraduados.

LINDIG-CISNEROS, R. y ZAMBRANO, L. (2009) Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos, pp. 167-188. En: Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R. & L., Zambrano (eds.). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. 1ª ed. México: Instituto Nacional de Ecología.

LIPPER, Leslie (2000) Degradación forestal y seguridad alimentaria (Consulta: 30 de julio de 2016). (<http://www.fao.org/docrep/x7273s/x7273s05.htm>).

LÓPEZ-PÉREZ, Diana y otros (2014) Estructura y composición florística de la vegetación secundaria en tres regiones de la Sierra Norte de Chiapas, México, pp. 1-23. En: Polibotánica, nro. 37.

MACE, Georgina M., NORRIS, Ken and FITTER, Alastair H. (2012) Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship, pp:19-26. In: Trends in Ecology and Evolution, vol. 27, nro. 1.

MANTGEM, Phillip and others (2016) Duration of fuels reduction following prescribed fire in coniferous forests of U.S. national parks in California and the Colorado Plateau. pp 265–272. In: Forest Ecology and Management. Vol 379 (2016).

MÁRQUEZ, Roberto (2005) Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración. México: Instituto Nacional de Ecología.

MELO, Omar A. y VARGAS, Rafael (2003) Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Ibagué: Universidad del Tolima, CRQ – CARDER – CORPOCALDAS – CORTOLIMA.

MERINO-PÉREZ, Leticia y SEGURA-WARNHOLTZ, Gerardo (2007) Las políticas forestales y de conservación y sus impactos en las comunidades forestales en México, pp. 77-98. En: Barton Bray, David, Merino Pérez, Leticia y Barry, Deborah (Eds.). Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, Instituto de Geografía, UNAM, Florida International Institute.

MÉXICO. Diario Oficial de la Federación (1988) La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). Última reforma 13 de mayo de 2016.

MÉXICO. Diario Oficial (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudio, muestreo y análisis.

MÉXICO. Diario Oficial de la Federación (2003) Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Última reforma 26 de marzo de 2015.

MÉXICO. Diario oficial (2010) NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

MÉXICO. Diario Oficial (2015) Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal 2016.

MINTEGUI A. J. A., ROBREDO, J.C. (1994) Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos, pp. 69-82. En: Revista Ingeniería del Agua, vol.1, nro. 2.

MITCHELL, Matthew G.E. and others (2015) Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services, pp. 190-198. In: Trends in Ecology & Evolution, vol. XXX, nro. X.

MORENO, Claudia E. (2001) Métodos para medir la biodiversidad. España: M&T-Manuales y Tesis SEA.

MUÑOZ, Hipólito Jesús y otros (2011) Manejo de un área semillera de *Pinus pseudostrobus* lindl. y *Abies religiosa* (h.b.k.) schltl. et cham. y selección de árboles superiores en Michoacán, México, pp. 29-36. En: Foresta Veracruzana, vol. 13, nro. 2.

MUÑOZ, Hipólito Jesús y otros (2014) Selección de plantas madre de *Agave cupreata* trel et berg. en Axaxacualco, Guerrero, México, pp. 1-8. En: Foresta Veracruzana, vol. 16, nro. 1.

MURCIA, Carolina y GUARIGUATA, Manuel R. (2014) La restauración ecológica en Colombia. Tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 107. Indonesia: CIFOR.

MUSÁLEM, Miguel Ángel y FIERROS, Aurelio Manuel (1996) Curso de silvicultura de bosques naturales. México: Universidad Autónoma Chapingo.

NEWTON, A.C y TEJEDOR N (2011) Principios y Práctica de la Restauración del Paisaje Forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina. Suiza: UICN y España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas.

NOBIS, Michael y HUNZIKERB, Urs (2005) Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection, pp243-250. In: Agricultural and Forest Meteorology, vol. 128.

NOBIS, M. (2005) SideLook 1.1 - Imaging software for the analysis of vegetation structure with true-colour photographs (consulta: 10 enero de 2016) <http://www.appleco.ch>.

RAMIRO, Miranda y otros (2014) Distribución de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et. Cham. y *Pinus montezumae* Lamb. ante el cambio climático, pp. 18-33. Rev. Mex. Cien. For., vol. 5, nro. 25.

OJEA, Elena, MARTIN-ORTEGA, Julia and CHIABAI, Aline (2012) Defining and classifying ecosystem services for economic valuation: the case of forest water services, pp. 1-15. In: Environmental Science & Policy, vol.19-20.

OLIVA, Mario y otros (2014) Manual: recolección de semillas de especies forestales nativas: experiencia en Molinopampa, Amazonas – Perú. Perú: ITTO.

ORDOÑEZ, Juan Julio (2012) ¿Qué es una Cuenca Hidrológica? Cartilla Técnica. Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima-Foro Peruano para el agua-GWP Perú.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO) (1991) Guía para la manipulación de semillas forestales. Italia: FAO.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) (2000) Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO 8. Italia.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) (2009) Guía para la descripción de suelos. 4ª ed. Italia.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) (2015) Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Compendio de datos. Roma.

PIERI, Chistian (1995) Long-term soil management experiments in semi-arid Francophone Africa, 225-264. In: Lal, R. and Steward, B. (eds). Soil Management: experimental basis for sustainability and environmental quality, USA: Lewis Publishers/CRC.

PRIEGO, Ángel G., MORALES, Horacio y ENRÍQUEZ, Carlos (2004) Paisajes físico-geográficos de la cuenca Lerma-Chapala, pp. 11-22. En: Gaceta Ecológica, nro. 71

PRIETO, José Ángel y LÓPEZ, Javier (2006) Colecta de semilla forestal en el género *Pinus*. Folleto técnico núm. 28. México: INIFAP-DURANGO.

PRINCE, David T. and others (2001) Regeneration in gapmodels: priority issues for studying forest responses to climate change, pp. 475-508. In: Climatic Change, vol.51.

RAMAKRISHNA, Bommathanahalli (1997) Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. San José, Costa Rica: IICA-BMZ/GTZ.

RÍOS-CORTEZ, Alejandra y otros (2012) Relación entre el manejo forestal y el bienestar socioeconómico en dos ejidos de Quintana Roo, pp. 251-259. En: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 18, nro. 2.

RODRÍGUEZ, Dante Arturo (2008). Indicadores de calidad de planta forestal. Editorial Mundi-Prensa y Universidad Autónoma Chapingo, México.

RODRÍGUEZ, Francisco (2006) Cuencas hidrográficas, descentralización y desarrollo regional participativo, pp.113-125. En: InterSedes, vol. VII, nro.12.

SÁENZ-ROMERO, Cuauhtémoc (2003) Alternatives for improving reforestation in México (consulta: 16 de junio de 2016). (<http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0381-B4.HTM>)

SÁNCHEZ, Óscar y otros (2005) Temas sobre restauración ecológica. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish and Wildlife Service, Unidos para la Conservación A.C.

SARUKHÁN, José y otros (2009) Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

SAURA, Santiago and PASCUAL-HORTAL, Lucia (2007) A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study, pp. 91-103. In: Landscape and Urban Planning vol. 83.

SEPÚLVEDA, Sergio y ROJAS, Patricia. 2002. Elementos del desarrollo sostenible. pp. 17-28. En: Chavarría H., Sepúlveda S. y P. Rojas (comp). COMPETITIVIDAD: Cadenas agroalimentarias y Territorios Rurales (Comp.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

STARK, Hendrik (2015) Forest restoration with *Betula ssp.* and *Populus ssp.* nurse crops increases productivity and soil fertility, pp. 57-70. In: Forest Ecology and Management, vol. 339.

SUÁREZ, Alfonso and others (2012) Local knowledge helps select species for forest restoration in a tropical dry forest of central Veracruz, pp. 35–55. In: Agroforest Syst., vol. 85.

THE POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE (PPI), POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA (PPC) AND FOUNDATION FOR AGRONOMIC RESEARCH (FAR) (1988) Manual de fertilidad de los suelos. USA: PPI.

THOMAS, Evert and others (2014) Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species, pp. 66-75. In: Forest Ecology and Management, vol. 333, nro.1.

TRUJILLO, Enrique (1995) Manejo de semillas forestales. Guía técnica para el extensionista forestal. Manual técnico no.17. Costa Rica: CATIE.

TURNER, Monica G., GARDNER, Robert H. and O'NEILL Roberto V. (2001) Landscape ecology in theory and practice. Pattern and process. USA: Springer-Verlag.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO (UACH) y COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2005). Evaluación del Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales: PROCOREF 2004. México: CONAFOR.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO (UACH) y COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2007). Evaluación Externa de los Apoyos de Reforestación, Obras y Prácticas de Conservación de Suelos y Sanidad Forestal Ejercicio Fiscal 2006. México: CONAFOR.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN (UANL) y COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2009). Informe Nacional de la Evaluación Externa del Programa de Reforestación: Ejercicio Fiscal 2008. México: CONAFOR.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO (UACH) y COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2011) Indicadores de gestión de desempeño del programa PROCOREF durante el ejercicio fiscal 2010. México: CONAFOR.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO (UACH) y COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2012) Evaluación Complementaria del PROCOREF Ejercicio Fiscal 2011. México: CONAFOR.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO (UACH) y COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2014) Informe Final de Resultados del Monitoreo y Evaluación Complementaria de los apoyos de Reforestación y Suelos 2012. México: CONAFOR.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO (UACH) y COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR) (2015) Monitoreo de restauración forestal y reconversión productiva 2014. México: CONAFOR.

VAN, G.W.J. and OLDEMAN, L.R. (1997) The assessment of the status of human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre.

VANEGAS, Magda (2009) Diversidad vegetal en obras de control de azolves sobre el Río Chapingo (Tesis de licenciatura). México: Universidad Autónoma Chapingo.

VANEGAS, Magda (2013) La política social orientada a la restauración de ecosistemas en México: El Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales (PROCOREF), una propuesta para su rediseño (tesis de maestría en políticas públicas). Puebla: Universidad Iberoamericana.

VARELA, Santiago A. y ARANA, Verónica (2011) Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos, pp. 3-10. En: Silvicultura en Vivero, Cuadernillo nro. 3.

VERGARA-SÁNCHEZ, Miguel Á., ETCHEVERS-BARRA, Jorge D. y PADILLA-CUEVAS, Juliana (2005) La fertilidad de los suelos de ladera de la Sierra Norte de Oaxaca, pp. 259-266. En Agrocencia, vol. 39, nro. 3

WALKER, L.R. (2005) Margalef y la sucesión ecológica, pp. 66-78. En: Ecosistemas, vol. 14, nro.1.

WANG, Lin and others (2016). Conservation priorities of forest ecosystems with evaluations of connectivity and future threats: Implications in the Eastern Himalaya of China. pp 128–135. In: Biological Conservation: 195 (2016).

WARNICK, Troy and ZANIEWSKI, Shawn (2008) Washington Conservation Corps. Ecological Restoration Evaluation. Washington: Department of Ecology State of Washington.

WOOD, Eric M. and others (2012) Image texture as a remotely sensed measure of vegetation structure, pp. 516-526. In: Remote Sensing of Environment, vol. 121.

WORLD VISION (2004) Manual de Manejo de Cuenca. San Salvador: Visión mundial El Salvador.

ZARAGOZÍ B. and others (2012) A free and open source programming library for landscape metrics calculations, pp. 131-140. In: Environmental Modelling & Software, vol. 31.

ZARCO-ESPINOSA, V.M. y otros (2010) Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco, pp. 1-17. En: Universidad y Ciencia, vol.26, nro.1

ZEHM, Andreas, NOBIS, Michael & SCHWABE, Angelika (2003) Multiparameter analysis of vertical vegetation structure based on digital image processing, pp. 142-160. In: Flora, vol. 198.

ANEXO 1. Especies que cuentan con fichas técnicas elaboradas por el Sistema de Información para la Reforestación.

Especie	Especie	Especie
<i>Abies religiosa</i>	<i>Euphorbia rossiana</i>	<i>Pinus maximartinezii</i>
<i>Acacia farnesiana</i>	<i>Fraxinus uhdei</i>	<i>Pinus maximinoi</i>
<i>Acacia mangium</i>	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Pinus montezumae</i>
<i>Acacia retinodes</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Pinus nelson</i>
<i>Acer negundo</i>	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Pinus oaxacana</i>
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	<i>Guaiacum coulteri</i>	<i>Pinus oocarpa</i>
<i>Agave angustifolia</i>	<i>Guarea glabra</i>	<i>Pinus patula</i>
<i>Agave atrovirens</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Pinus pinceana</i>
<i>Agave lechuguilla</i>	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	<i>Pinus poderosa</i>
<i>Alnus acuminata</i>	<i>Hevea brasiliensis</i>	<i>Pinus poderosa</i>
<i>Aloe vera</i>	<i>Inga vera</i>	<i>Pinus pringlei</i>
<i>Amphipterygium adstringens</i>	<i>Juglans regia</i>	<i>Pinus pseudostrobus var oaxacana</i>
<i>Annona cherimola</i>	<i>Juniperus deppeana</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>
<i>Arbutus glandulosa</i>	<i>Juniperus flaccida</i>	<i>Pinus rudis</i>
<i>Atriplex canescens</i>	<i>Juniperus horizontalis</i>	<i>Pinus teocote</i>
<i>Avicennia germinans</i>	<i>Juniperus monosperma</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>
<i>Azadirachta indica</i>	<i>Laguncularia recemosa</i>	<i>Platanus X hybrida</i>
<i>Bixa orellana</i>	<i>Leucaena esculenta</i>	<i>Platymiscium yucatanum</i>
<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Prosopis juliflora</i>
<i>Bucida buceras</i>	<i>Lippia graveolens</i>	<i>Prosopis laevigata</i>
<i>Bursera aloexylon</i>	<i>Liquidambar macrophylla</i>	<i>Prosopis velutina</i>
<i>Bursera simaruba</i>	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	<i>Prunus serotina</i>
<i>Caesalpinia velutina</i>	<i>Manilkara zapota</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
<i>Casimiroa edulis</i>	<i>Melia azedarach</i>	<i>Psidium guajava</i>
<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Metopium brownei</i>	<i>Quercus Laurina</i>
<i>Cedrela odorata</i>	<i>Mimosa scabrella</i>	<i>Quercus macrophylla</i>
<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Olneya tesota</i>	<i>Quercus rugosa</i>
<i>Cercidium microphyllum</i>	<i>Parkinsonia florida</i>	<i>Quercus virginiana</i>
<i>Cercidium praecox</i>	<i>Picea chihuahuana</i>	<i>Rhizophora mangle</i>
<i>Chamaedorea elegans</i>	<i>Picea engelmannii</i>	<i>Salix bonplandiana</i>
<i>Chilopsis linearis</i>	<i>Pimenta dioica</i>	<i>Salix humboldtiana</i>
<i>Conocarpus erectus</i>	<i>Pinus arizonica</i>	<i>Schinus molle</i>
<i>Cordia alliodora</i>	<i>Pinus ayacahuite</i>	<i>Simarouba glauca</i>
<i>Cordia dodecandra</i>	<i>Pinus caribaea</i>	<i>Simmondsia chinensis</i>
<i>Cordia elaeagnoides</i>	<i>Pinus cembroides</i>	<i>Spondias mombin</i>
<i>Crataegus mexicana</i>	<i>Pinus chiapensis</i>	<i>Swietenia humilis</i>
<i>Crescentia cujete</i>	<i>Pinus devoniana</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>

Especie	Especie	Especie
<i>Cupressus guadalupensis</i>	<i>Pinus douglasiana</i>	<i>Tabebuia chrysantha</i>
<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Pinus durangensis</i>	<i>Tabebuia donnell-smithi</i>
<i>Cupressus lusitanica1</i>	<i>Pinus engelmannii</i>	<i>Tabebuia rosea</i>
<i>Delonix regia</i>	<i>Pinus greggii</i>	<i>Talisia olivaeformis</i>
<i>Dendropanax arboreus</i>	<i>Pinus halepensis</i>	<i>Tamarix parviflora</i>
<i>Dioscorea composita</i>	<i>Pinus herrerae</i>	<i>Taxodium mucronatum</i>
<i>Dioscorea floribunda</i>	<i>Pinus jeffreyi</i>	<i>Tectona grandis</i>
<i>Diospyros digyna</i>	<i>Pinus lambertiana</i>	<i>Terminalia catappa</i>
<i>Dodonaea viscosa</i>	<i>Pinus lawsoni</i>	<i>Turnera diffusa</i>
<i>Ebenopsis ebano</i>	<i>Pinus leiophylla</i>	<i>Washingtonia robusta</i>
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Pinus lumholtzii</i>	<i>Yucca filifera</i>