



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques, Más vida

Manual técnico de campo
para promover la **Restauración de
Tierras Forestales Degradadas del
Bosque de Coníferas** de Guatemala



Guatemala, **julio** 2023

“El contenido de este informe es de exclusiva responsabilidad del autor y en ningún caso debe considerarse que refleja las opiniones de FAO”.

Con el apoyo de:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

KOICA 
Korea International
Cooperation Agency

Publicación del Instituto Nacional de Bosques (INAB)

7a avenida 12-90 zona 13 Guatemala, Guatemala, Centro América

www.inab.gob.gt

Dirección de Manejo y Restauración de Bosques

7a avenida 6-80 zona 13

Guatemala, Guatemala, Centro América

Teléfono: 2321-4530

Departamento de Restauración Forestal

7a avenida 6-80 zona 13

Guatemala, Guatemala, Centro América

Teléfono: 2321-4530
y 5988-9620

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación para fines educativos o sin intenciones de lucro, sin ningún otro permiso especial del titular de los derechos, con la condición de que se cite la fuente de donde proviene.

Citar este documento como:

Instituto Nacional de Bosques. 2023. Manual Técnico de campo para promover la Restauración de Tierras Forestales Degradadas del Bosque de Coníferas de Guatemala, Departamento de Restauración Forestal. 96p. (Serie técnica).

ELABORADO POR:

Departamento de Restauración Forestal del Instituto Nacional de Bosques (INAB), revisado por el Ing. Jorge Arturo Javier de Paz García, Jefe del Departamento de Restauración Forestal ; con la asesoría y redacción principal del Ing. Sergio Miguel Godínez (consultor FAO, 2023) y mediado por el Ing. Jonathan Daniel Caxun Sontay a través de una consultoría financiada por FAO-KOICA

Este Documento ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Agencia de Cooperación Internacional de Corea (KOICA por sus siglas en inglés) a través del proyecto GCP/GUA/030/ROK "Adaptación de comunidades Rurales, a la variabilidad y cambio climático para el mejorar su resiliencia y medios de vida, en Guatemala".



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Presentación

El Instituto Nacional de Bosques -INAB- es el órgano de dirección y autoridad competente del Sector Público Agrícola, en materia forestal; una de las principales atribuciones del instituto consiste en impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación; mediante el diseño he impulsado de estrategias y acciones que regeneren un mayor desarrollo económico, ecológico y social del país.

En atención a su mandato, el INAB, con apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- presenta el Manual Técnico de campo para promover la Restauración de Tierras Forestales Degradadas del Bosque de Coníferas de Guatemala.

El documento se integra por cinco secciones que describen las características biogeográficas y socioeconómicas del ecosistema de coníferas de Guatemala; las características ecológicas relacionadas con la composición y estructura, el fenómeno de la sucesión ecológica y las manifestaciones de degradación forestal de los bosques de conífera y ripario. Incluye también las propuestas metodológicas e instrumentos de evaluación para la evaluación de degradación forestal y priorización de especies para la restauración forestal; la fundamentación teórica de las técnicas de restauración y su vinculación con la normativa de la Ley PROBOSQUE.

El Manual Técnico expone los principales resultados de investigaciones, documentos científicos y experiencias documentadas que aportan conocimientos que se relaciona con las características de diversidad, estructura y dinámica del ecosistema de coníferas de Guatemala.

Poniendo a disposición este documento al Sector Forestal, a través de mecanismos sostenibles que aumenten la oferta de bienes y servicios de los ecosistemas y que incrementen los ingresos de la población beneficiada en un país de vocación forestal.

Ing. Rony Estuardo Granados Mérida
Gerente INAB

Junta Directiva del Instituto Nacional de Bosques

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación	Ministerio de Finanzas Públicas
·Edgar René de León Moreno ·Aldo Fernando Rodas Castellanos	·Héctor Adolfo González Douma ·Kildare Stanley Enríquez
Asociación Nacional de Municipalidades	Escuela Nacional Central de Agricultura
·Luis Fernando Cordón Vargas ·Juan José Paredes	·Mario Anibal Alemán Galindo ·Federico Ramón Morales y Morales
Cámara de Industria, Gremial Forestal	ASOREMA
· Fernando Alcides Enríquez Flores · Bruno Arias Rivas	· Carmen Raquel Torselli Bech ·Francisco Khalil De León Barrios
Universidades	Instituto Nacional de Bosques
·Carlos Augusto Vargas Gálvez ·Francisco José Olivet	·Gerente del INAB y secretario de la Junta Directiva: Rony Estuardo Granados Mérida.

Acrónimos

Siglas/ Abreviaturas	Descripción
A	Árbol
AB	Área Basal
ACMEFAR	Asociación Civil no lucrativa Mesa Forestal y Ambiental
AD	Atracción de dispersores
Ag	Agroforestería
B	Brinjal
bh-MBT	Bosque húmedo montano bajo tropical
bh-PMT	Bosque húmedo premontano tropical
bh-T	Bosque húmedo tropical
bmh-MBT	Bosque muy húmedo montano bajo tropical
bmh-MT	Bosque muy húmedo montano tropical
bmh-PMT	Bosque muy húmedo premontano tropical
bmh-MBT	Bosque pluvial montano tropical
bp-SAT	Bosque pluvial subandino tropical
bs-PMT	Bosque seco premontano tropical
Cb	Conservación de biodiversidad
CITES	Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
cm	centímetro
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
CT	Amenazada por Comercio
EE	Especie Emblemática
EF	Especies facilitadora o nodriza

Siglas/ Abreviaturas	Descripción
EN	En Peligro
ES	Estabilización del Suelo
EVP	Evaporación Potencial
EW	Extinta en estado silvestres
EX	Extinto
FA	Facilidad de Adaptación
FAO	Organización de las Naciones Unidas Par la Alimentación y la agricultura.
Fj	Fustal Joven
Fm	Fustal maduro
FN	Fijación de nitrógeno
Fo	Especie forrajera
FR	Facilidad de Reproducción
Fra	Especie Frutal/alimenticia
GEF	Grupo Ecológico Funcional
HC	Habito de Crecimiento
I	Inicial
IARNA	Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología
IESP	Indicadora de etapa sucesional pionera
IESS	Indicadora de etapa sucesional secundaria,
IEST	Indicadora de etapa sucesional tardía
INAB	Instituto Nacional de Bosques
L	Latizal

Siglas/ Abreviaturas	Descripción
LC	Preocupación Menor
Lcb	Leña/carbón/bicombustible
LEA	Lista de Especies Amenazadas CONAP
m	Metro
Ma	Maderable
Me	Especie medicinal
MO	Aporte de Materia orgánica al suelo
msnm	Metro sobre el nivel del mar
ND	Nivel de Degradación
Nm	No maderable
No	Número
NT	Casi Amenazada
OBD	Indicadora de bosque degradado
P	Plántula
Pa	Producción apícola/melífera
PC	Peligro crítico
PER	Potencial Ecoturístico-Recreativo
Pnm	Producción no maderable
PP	Precipitación Pluvial
PR	Protección de Riberas
Pr	Producción sostenible
Psa	Protección del suelo y agua

Siglas/ Abreviaturas	Descripción
RB	Recurso biocultural
Re	Restauración ecológica
SER	Society for Ecological Restoration
TAV	Tierras Altas Volcánicas
TCAN	Tierras Calizas Altas del Norte
TRCS	Técnicas de restauración y conservación del suelo
Uai	Uso artesanal-Industrial
UAT	Uso Artesanal-Tradicional
UCE	Uso Ceremonial-Espiritual
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
Uo	Uso ornamental
URL	Universidad Rafael Landívar
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
USFS	Servicios Forestales de los Estados Unidos
VAE	Valor de Amenaza y Endemismo
VC	Valor Cultural
VE	Valor Estético
VEB	Valor Ecológico Biológico
VSE	Valor Socioeconómico
VU	Vulnerable
WRI	World Resources Institute

Índice de Contenido

1. Sección I. Características biogeográficas del ecosistema de coníferas	16
1.1. El ecosistema de coníferas	16
1.2. Distribución actual de los bosques de coníferas	17
1.3. Distribución potencial: contexto ecológico, geológico, fisiográfico y evolutivo	19
2. Sección II. Caracterización ecológica del ecosistema de coníferas	21
2.1. Sucesión ecológica y restauración de los bosques de coníferas	21
2.1.1. Sucesión y restauración ecológica	21
2.1.2. Regeneración natural y sucesión ecológica	21
2.1.3. Dinámica de la regeneración natural de coníferas	22
2.2. Estructura y composición de los bosques de coníferas	23
2.2.1. Estructura vertical	23
2.2.2. Estructura horizontal	24
2.3. Características ecológicas del ecosistema ripario o de galería	26
2.3.1. Características relevantes de los ecosistemas riparios	26
2.3.2. Estructura de la zona ribereña	27
2.3.3. Estructura horizontal y biodiversidad del bosque ripario	28
2.3.4. Estructura vertical del bosque ripario	28
2.3.5. Degradación de zonas ribereñas y criterios de evaluación	29
2.3.6. Protección y restauración de taludes de las zonas ribereñas	29
2.4. Diversidad de especies indicadoras de sucesión ecológica en el ecosistema de coníferas	30
2.4.1. Etapa de sucesión ecológica primaria o pionera	30
2.4.2. Etapa de sucesión secundaria o intermedia	30
2.4.3. Etapa de sucesión madura o tardía	31
3. Sección III. Degradación de los bosques de coníferas	39
3.1. Degradación de los bosques	39

3.2. Evaluación de la degradación del bosque de coníferas y zonas riparias	39
3.3. Criterios de evaluación exclusivos de los bosques de coníferas	39
3.3.1. Criterio: estructura vertical	39
3.3.2. Criterio: disturbios naturales	40
3.4. Criterios de evaluación aplicables a los bosques de coníferas y riparios	40
3.4.1. Criterio: cobertura de copas	40
3.4.2. Criterio: biodiversidad indicadora	41
3.4.3. Criterio edáfico	42
3.4.4. Criterio: disturbios antropogénicos	43
3.5. Criterios de evaluación de degradación exclusivos para bosque ripario	43
3.5.1. Criterio: tipo de corriente	43
3.5.2. Criterio: características del talud de la corriente	44
3.5.3. Criterio: estructura horizontal	44
3.5.4. Criterio: conectividad de la vegetación	44
3.5.5. Criterio: sedimentación	44
3.6. Formatos para determinar el estado de degradación	44
3.7. Tipos de proyectos en la modalidad de restauración de tierras forestales degradadas en el marco de la ley PROBOSQUE, para el ecosistema Bosques de Coníferas	49
3.8. Criterios y parámetros de evaluación para la aprobación y certificación de proyectos	51
3.8.1. Bosques de coníferas	51
3.8.2. Bosque ripario	53
4. SECCION IV. Guía técnica de prácticas de Restauración de Tierras Forestales Degradadas	54
4.1. Técnicas de restauración los niveles de degradación	54
4.2. Restauración forestal: definición y objetivos	55
4.3. Estrategias de restauración forestal	56
4.3.1. Restauración pasiva (Técnicas auxiliares)	57

4.3.2. Técnicas de Restauración pasiva	57
4.3.3. Restauración activa	58
4.3.4. Técnicas básicas de restauración activa	59
4.3.5. Técnicas complementarias de restauración ecológica	61
4.3.6. Restauración de suelos	63
4.4. Modelo del proceso de restauración de Tierras Forestales Degradadas	63
5. Sección V. Metodología para la priorización de especies para restauración forestal del ecosistema de coníferas de Guatemala	64
5.1. Fundamentación metodológica	64
5.2. Guía ilustrada de especies prioritarias para la restauración forestal de los bosques de coníferas y de zonas riparias asociadas de Guatemala	76
5.2.1. Modelo de gráfico de lectura de las fichas técnicas de especies de árboles para restauración forestal del bosque de coníferas	77
6. Referencias	92

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación de los bosques de pino-encino en la región mesoamericana. Fuente del mapa: Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2008...	16
Figura 2: Distribución de bosques de coníferas	18
Figura 3: Zonas de vida de Holdridge con distribución de bosques de coníferas de Guatemala	20
Figura 4: Comportamiento de la densidad de regeneración natural de pinos en función de la distancia de la fuente semillera en espacio de borde en bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala. Fuente: Godínez et al., 2010	22
Figura 5: Comportamiento de la densidad de regeneración natural de pinos en función de la distancia de la fuente semillera en espacio de claros en bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala. Fuente: Godínez et al., 2010	22
Figura 6: Respuesta de la capacidad de establecimiento de la regeneración natural de pinos en función de la exposición fisiográfica de los sitios de repoblación en bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala. Fuente: Godínez et al., 2010	23

Figura 7: Modelo de zona ribereña de un río. Ilustración modificada de González Tánago & García de Jalón (2007) citado en Möller, 2011	26
Figura 8: Estructura y dimensiones de las zonas de protección en función de (A) las características de la sección transversal, (B) las dimensiones del canal natural o cauce, definiendo (C) las zonas de protección de exclusión y de manejo limitado. Fuente: Romero...	27
Figura 9: Especies indicadoras de la etapa de sucesión primaria o pionera	32
Figura 10: Especies características de la etapa de sucesión secundaria o intermedia	33
Figura 11: Especies características de la etapa de sucesión secundaria o intermedia	35
Figura 12: Especies indicadoras de la etapa de sucesión ecológica madura	37
Figura 13: Especies indicadoras de la etapa de sucesión ecológica madura	38
Figura 14: Infografía para la evaluación de niveles de degradación de los bosques de conífera y ripario	48
Figura 15: Tipos de proyecto en la modalidad de Restauración de Tierras Forestales Degradadas, aplicables a los bosques del ecosistema de Bosque de Coníferas	49
Figura 16: Representación gráfica de la estructura vertical y horizontal de la vegetación de las diferentes manifestaciones de los bosques de coníferas y zona riparia del ecosistema bosque de coníferas	50
Figura 17: Proceso de restauración pasiva de un área de potrero. Fuente: Rey, 2014	58
Figura 18: Regeneración natural de bosques de coníferas en Sierra María Tecún. Fotografía 2017: S.I. Godínez	59
Figura 19: Enriquecimiento de bosque nativo con cedros. Fuente: Ezequiel, s.f.	60
Figura 20: Combinaciones de número de plántulas para diferentes magnitudes de grupo, basado en Anderson, 1953. Fuente: González Hernández et al., 2021	61
Figura 21: a. Las aves disminuyen su desplazamiento dentro de la matriz del pastizal al no encontrar sitios para percharse. b. La instalación de perchas para aves aumenta el desplazamiento de las aves dentro de la matriz de pastizal y la llegada de semillas ornitócoras al suelo. Fuente: Vargas, 2007	63
Figura 22: Esquema para la planificación de la restauración de tierras forestales degradadas ...	63
Figura 23. Proceso metodológico para la priorización de especies para restauración forestal de bosque de pino y ripario del ecosistema de coníferas de Guatemala. (Elaboración propia)	64

Índice de tablas

Tabla 1: Diversidad de especies de árboles de coníferas y rango de distribución altitudinal	17
Tabla 2: Especies forestales coníferas características de cada zona de vida	19
Tabla 3: Clases de desarrollo característicos en cada etapa sucesión ecológica	24
Tabla 4: Área basal promedio en las diferentes clases de desarrollo de diferentes especies coníferas	25
Tabla 5: Listado de especies indicadoras de la etapa sucesión ecológica pionera	31
Tabla 6: Listado de especies de la etapa de sucesión ecológica secundaria o intermedia	34
Tabla 7: Listado de especies indicadoras de la etapa de sucesión ecológica tardía o madura	36
Tabla 8: Conceptualización de la definición de niveles de degradación de los bosques de coníferas	45
Tabla 9: Formato para evaluación de niveles de degradación en bosques de coníferas	46
Tabla 10: Descriptor de los parámetros de evaluación de niveles de degradación en bosques de coníferas	47
Tabla 11: Tamaño de parcelas para evaluar la vegetación en bosques de coníferas	51

Tabla 12. Técnicas de restauración sugerida, según el nivel de degradación del área	54
Tabla 13. Componentes, criterios, parámetros y ponderaciones para la priorización de especies de coníferas y latifoliadas de los bosques de pino y zonas de ribera del ecosistema de coníferas de Guatemala	65
Tabla 14: Niveles de prioridad de especies para uso en restauración forestal del ecosistema de coníferas, en base a rangos de ponderación por componente de valoración	67
Tabla 15. Matriz de priorización de especies de coníferas para restauración forestal de bosque de pino y zonas ribereñas del ecosistema de coníferas de Guatemala	68
Tabla 16. Matriz de priorización de especies de latifoliadas para restauración forestal de bosque de pino y zonas ribereñas del ecosistema de coníferas de Guatemala	70
Tabla 17. Matriz de priorización de especies de latifoliadas para restauración forestal de bosque de pino y zonas ribereñas del ecosistema de coníferas de Guatemala (continuación...)	72
Tabla 18. Matriz de priorización de especies de latifoliadas para restauración forestal de bosque de pino y zonas ribereñas del ecosistema de coníferas de Guatemala (continuación...) ..	74

Introducción

El objetivo principal para la elaboración del presente manual es que los técnicos y profesionales encargados del establecimiento, seguimiento y evaluación de proyectos de Restauración de Tierras Forestales Degradadas, tengan las herramientas necesarias para evaluar y restaurar la degradación de la vegetación arbórea y conocer la ecología de los bosques de Coníferas con el fin de entender los mecanismos y procesos que regulan la sucesión ecológica, lo cual es la base para el entendimiento de las funciones de los ecosistemas y establecer las acciones adecuadas de restauración ecológica para la conservación, uso y manejo sostenible de los bosques naturales de Coníferas degradados o secundarios.

Sección I: Describe la biodiversidad de especies de coníferas, las características biogeográficas y ecológicas del ecosistema de coníferas integrada por los bosques de pino y zonas riparias asociadas. Se esbozan las características sociales y económicas vinculadas con la distribución geográfica de las coníferas en Guatemala.

Sección II: Se definen los criterios para la caracterización de la estructura vertical y horizontal de los bosques de coníferas. También aborda la teoría de la caracterización de la estructura y las funciones ecológicas del bosque ripario, el fenómeno de degradación y oportunidades biológicas de restauración. Se abordan y aplican los criterios para la caracterización de los estados de sucesión ecológica forestal en coníferas de Guatemala con base a la diversidad de flora indicadora, resultado de investigaciones en la región occidental de Guatemala.

Sección III: Aborda la teoría de la degradación forestal, definiendo los criterios e indicadores para su evaluación aplicado a los bosques de coníferas y riparios asociados. Se construye una clave para evaluar la degradación de los bosques de coníferas, organizada en categorías y niveles de degradación, basada en la estructura horizontal, la biodiversidad de especies de árboles, arbustos, hierbas y epífitas de las etapas de sucesión ecológica forestal; se complementa con la degradación edáfica. Incluye el diseño de un formato para la evaluación de la degradación de las tierras forestales de coníferas de Guatemala.

Sección IV: Corresponde a la Guía técnica de prácticas de Restauración de Tierras Forestales Degradadas, abordando la fundamentación conceptual y teórica aplicable al contexto nacional de restauración del paisaje forestal. Se describen las estrategias básicas de restauración forestal y la diversidad de técnicas aplicables al ecosistema de coníferas. Ilustra la definición ajustada de las modalidades de tipos de proyectos de restauración forestal definidos en el marco de la Ley PROBOSQUE.

Contiene una propuesta de técnicas de restauración forestal en función de los niveles de degradación forestal y la dinámica de sucesión ecológica de los bosques de coníferas. Describe la propuesta de criterios y parámetros de evaluación para la aprobación y certificación de proyectos de restauración forestal conciliados con el Manual de Criterios y Parámetros Técnicos para la Modalidad de Tierras Forestales Degradadas (Instituto Nacional de Bosques-INAB, 2020) y las modificaciones propuestas para el mismo.

Sección V: Describe la ruta metodológica diseñada para la priorización de especies forestales de coníferas y latifoliadas, para la restauración de los bosques de coníferas y zonas riparias. Se fundamenta en los componentes ecológico-biológicos, socioeconómicos y culturales que tienen aplicación potencial según los requerimientos técnicos-institucionales y socioculturales en el área geográfica de distribución de los bosques de coníferas y riparios. Para cada componente se definen los criterios con sus respectivos indicadores y las ponderaciones pertinentes.

1.

Sección I. Características biogeográficas del ecosistema de coníferas

1.1. El ecosistema de coníferas.

El Ecosistema de matriz de coníferas está integrado por la diversidad de especies de coníferas tropicales nativas (Tabla 1), concentrando la mayor biodiversidad la familia *Pinaceae* y con menor diversidad las familias *Cupresaceae*, *Podocarpaceae* y *Taxaceae* (Standley & Steyermark, 1947/1977; Veblen, 1977; Véliz-Pérez, 2008). Este ecosistema de matriz lo conforman los bosques de coníferas y los bosques de ribera o galería que están asociados a la red hídrica del ecosistema de coníferas.

Los bosques de pino-encino constituyen el asocio de dos géneros (*Pinus sp.-Quercus sp.*), se distribuyen en el rango altitudinal de 600 a 3,000 m s.n.m. (Alinaza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2008) y los bosques de pino alcanzan los 3,800 m s.n.m. (Godínez S. M., 2021). Se distribuye principalmente en la zona montañosa central de Guatemala (Figura 1).

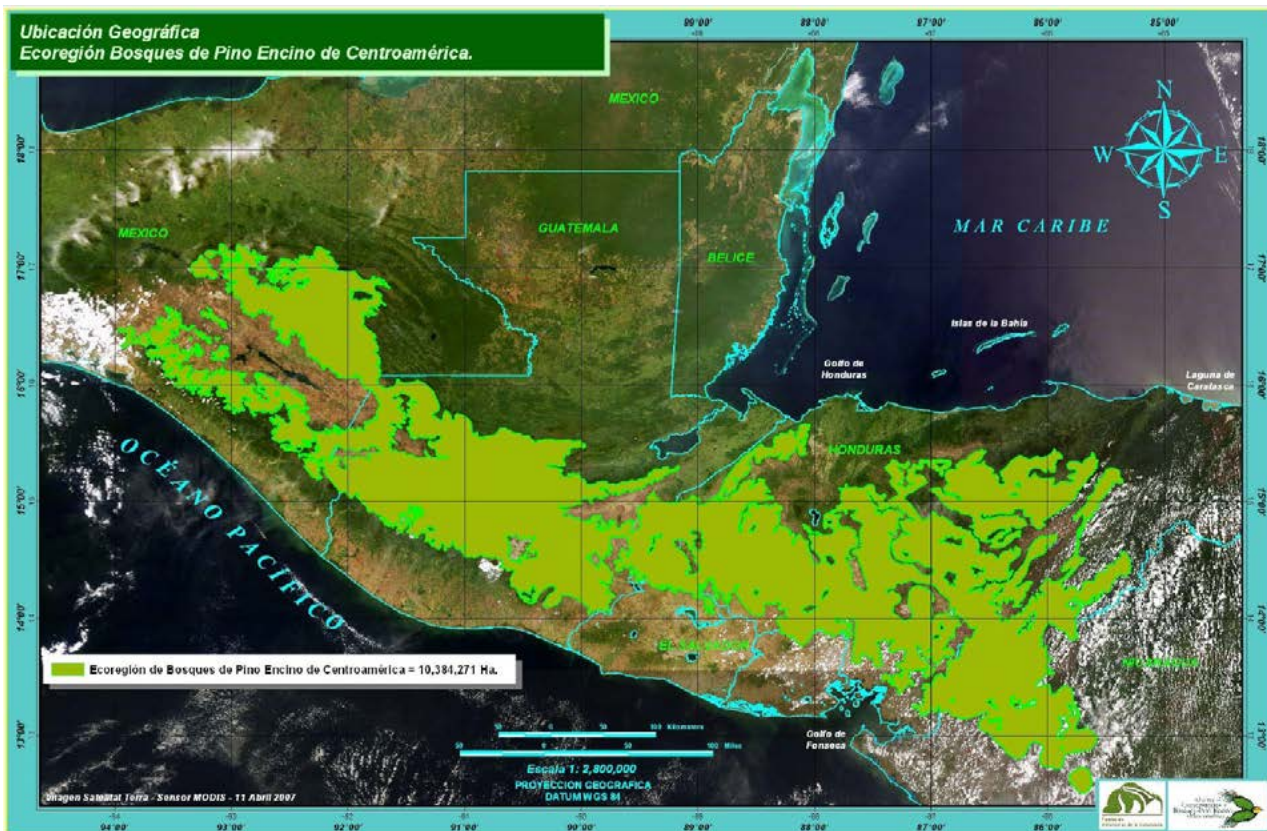


Figura 1: Ubicación de los bosques de pino-encino en la región mesoamericana.

Fuente: del mapa: Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2008.

Tabla 1: Diversidad de especies de árboles de coníferas y rango de distribución altitudinal.

No.	Familia/Género-especie	Rango distribución m s.n.m. Según Veblen y Flora of Guatemala
CUPRESSACEAE		
1	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	2,200-3,300
2	<i>Juniperus comitana</i> Martínez	1,200-2,150
3	<i>Juniperus standleyi</i> Steyermark.	3,000-4,100
4	<i>Taxodium huegelii</i> C. Lawson	800-2,000
PINACEAE		
5	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	2,600-3,500
6	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schlttdl.	2,000-3,400
7	<i>Pinus caribaea</i> Morelet	
8	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl	2,300-4,000
9	<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	1,100-2,400
10	<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	1,100-2,600
11	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	500-2,750
12	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	1,600-3,200
13	<i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> Martínez	800-2,000
14	<i>Pinus tecunumanii</i> F. Schwerdtf. ex Eguiluz & J. P. Perry	1,500-2,850
PODOCARPACEAE		
15	<i>Podocarpus matudai</i> Lundell	1,200-2,600
16	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	2,000-3,200
TAXACEAE		
17	<i>Taxus globosa</i> Schlttdl.	2,200-3,000

Fuente: Elaboración propia basada en The Plant List, 2013; Standley & Steyermark, 1947/1977 y Veblen, 1977.

1.2. Distribución actual de los bosques de coníferas

Según el mapa forestal por tipo y subtipo de bosque, presentado en el año 2012, existían 297,982 ha de bosque de conífera equivalente al 2.76% de la cobertura forestal del país, ubicados en la parte central y occidental del país (INAB-CONAP, 2015). El mapa de dinámica de cobertura forestal 2012-2016, evidencia que en toda la zona ha habido pérdidas y ganancias (Grupo Interinstitucional de Monitoreo de los Bosques y Uso de la Tierra, 2018); no se puede analizar específicamente la cantidad o porcentaje de tales tendencias, ya que las metodologías para ambos mapas son diferentes, pero ofrecen una panorámica del comportamiento de la dinámica de distribución actual.

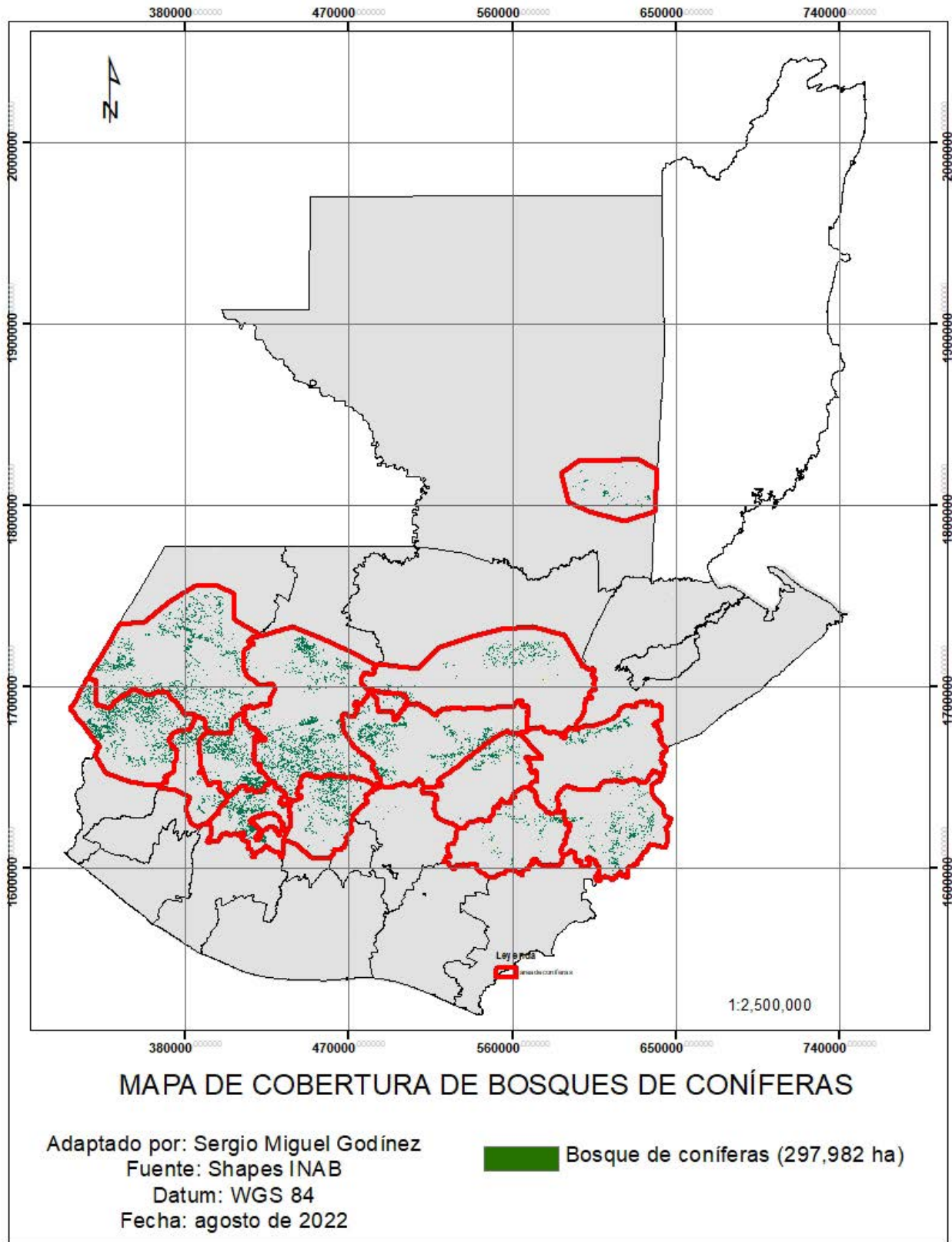


Figura 2: Distribución de bosques de coníferas.

1.3. Distribución potencial: contexto ecológico, geológico, fisiográfico y evolutivo

Las áreas de distribución potencial de coníferas se identificaron tomando en cuenta los pisos altitudinales, según la propuesta de IARNA-URL (2018) basada en las zonas de vida de Holdridge, las cuales son delimitadas por: altitud, biotemperatura, precipitación y relación evaporación potencial (EVP) y precipitación pluvial (pp). Según estos principios, los bosques de coníferas se pueden desarrollar en los pisos altitudinales y zonas de vida detallados en la tabla 2 y figura 3, tomando como indicador la presencia de especies coníferas (IARNA-URL, 2018).

Tabla 2: Especies forestales coníferas características de cada zona de vida.

Piso altitudinal	Zona de vida	Principales especies coníferas
Tropical	Bosque Húmedo Tropical (bh-T)	<i>Pinus caribaea</i>
Premontano	Bosque seco premontano tropical (bs-PMT)	<i>Pinus caribaea, Pinus maximinoi, Pinus oocarpa, Pinus tecunumanii, Pinus montezumae, Juniperus comitana, Taxodium mucronatum</i>
	Bosque húmedo premontano tropical (bh-PMT)	<i>Pinus caribaea, Pinus oocarpa, Pinus tecunumanii, Pinus montezumae, Juniperus comitana, Taxodium mucronatum</i>
	Bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PMT)	<i>Pinus caribaea, Pinus maximinoi, Pinus oocarpa, Pinus tecunumanii, Podocarpus guatemalensis, Pinus strobus var chiapensis, Juniperus comitana</i>
Montano bajo tropical	Bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT)	<i>Abies guatemalensis, Cupressus lusitanica, Juniperus standleyi, Pinus ayacahuite, Pinus hartwegii, Pinus maximinoi, Pinus montezumae, Pinus pseudostrobus, Pinus rudis, Taxus globosa, Pinus strobus chiapensis, Taxodium mucronatum, Pinus oocarpa</i>
	Bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT)	<i>Pinus maximinoi, Pinus montezumae, Pinus pseudostrobus, Podocarpus guatemalensis, Pinus ayacahuite</i>
Montano y subandino	Bosque muy húmedo montano tropical (bmh-MT) 1943 msnm	<i>Abies guatemalensis, Cupressus lusitanica, Juniperus standleyi, Pinus ayacahuite, Pinus hartwegii, Pinus pseudostrobus</i>
	Bosque pluvial montano tropical (bp-MT) 2148 msnm	<i>Abies guatemalensis, Cupressus lusitanica, Pinus ayacahuite, Pinus hartwegii, Pinus pseudostrobus</i>
	Bosque pluvial subandino tropical (bp-SAT)	<i>Pinus caribaea</i>

Fuente: IARNA-URL (2018).

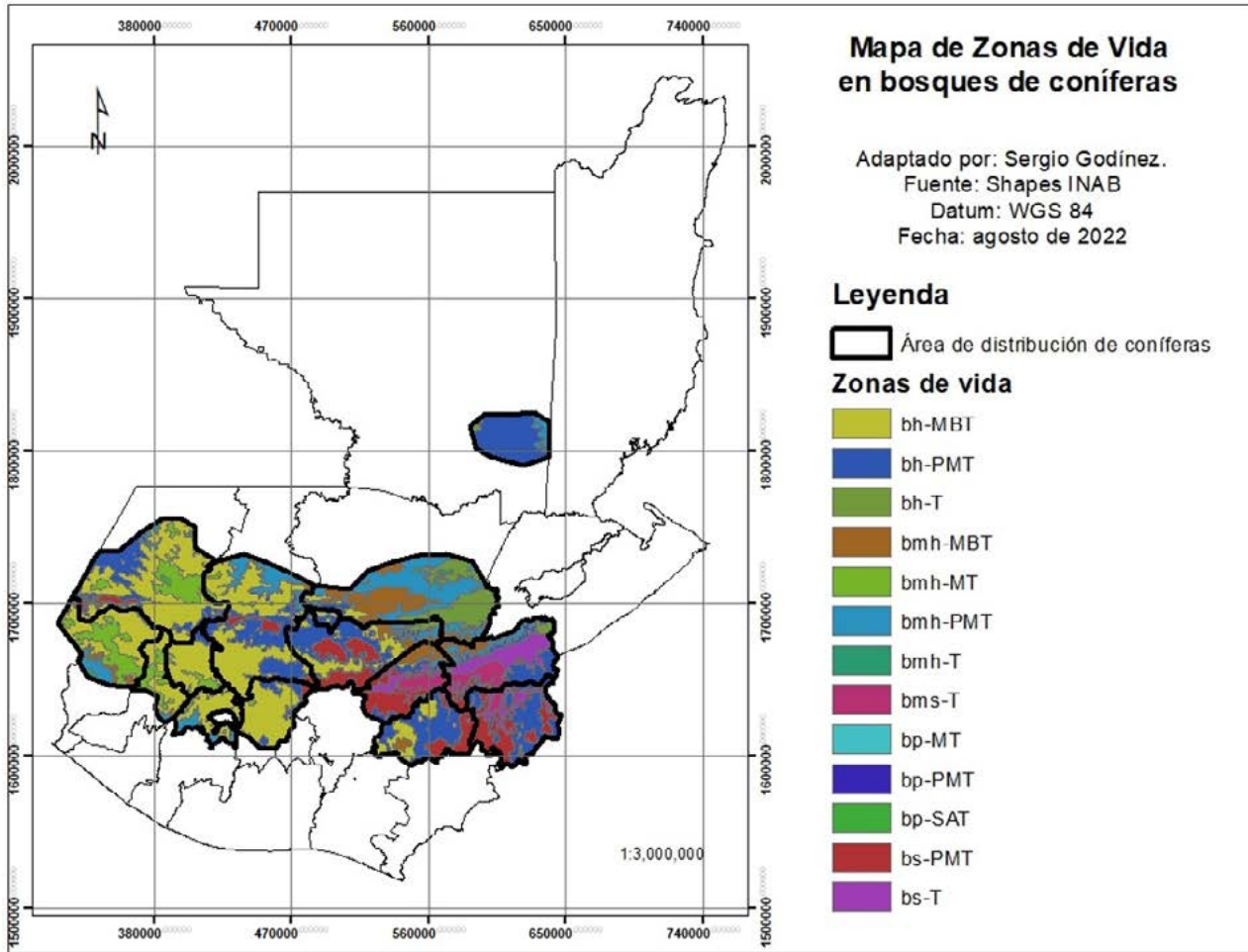


Figura 3: Zonas de vida de Holdridge con distribución de bosques de coníferas de Guatemala.

2.

Sección II. Caracterización ecológica del ecosistema de coníferas

2.1. Sucesión ecológica y restauración de los bosques de coníferas

2.1.1. Sucesión y restauración ecológica

El *disturbio* generalmente es el agente promotor la sucesión ecológica, ambos fenómenos son los principales modeladores del paisaje (Huston, 1998).

El conocimiento de los mecanismos y procesos que regulan la sucesión ecológica, es la base para el entendimiento de las funciones de los ecosistemas, el manejo y la restauración ecológica (Mora Parada et al., 2020; Sánchez Velásquez, 2003). La restauración de un ecosistema degradado, requiere de tres procesos básicos. El primero es la identificación de los agentes de degradación del sitio; el segundo consiste en contrarrestar los efectos de los agentes degradantes a través de distintos métodos o acciones pertinentes y el tercero se vincula con la identificación de los dispersores y polinizadores críticos para la supervivencia y expansión de la vegetación (Quezada Monge, 2007). Estos últimos existen dentro de los núcleos de parches o ecosistemas de matriz cercanos a las áreas degradadas.

2.1.2. Regeneración natural y sucesión ecológica

Es el proceso que permite a los ecosistemas forestales recuperar su cobertura vegetal, después de eventos de *perturbación antrópica o natural* de gran magnitud; induce al ecosistema a volver al estado anterior a la perturbación (Martínez-Ramos, 1994; Chazdon & Guariguata, 2016 citados por Juárez García, 2017). El proceso de la regeneración natural (fases o etapas) se asemeja y está relacionada con la sucesión ecológica secundaria en relación a los cambios en la composición y estructura ecosistémica temporal y espacial (Juárez García, 2017).

a. Regeneración natural: composición, estructura y dinámica

La regeneración natural en los ecosistemas tropicales constituye una de las bases fundamentales para el manejo forestal sostenible, al permitir la renovación y la continuidad de las poblaciones de las especies aprovechadas o utilizadas y asegurar la productividad futura del bosque (Leigue Gómez, 2011; Norden, 2014). Se caracteriza por generar los menores costos, es aplicable a pequeña, mediana y gran escala, lo que implica proyectos gestionados por pequeños propietarios hasta programas de pago por servicios ecosistémicos; además es adaptable a diferentes objetivos de gestión forestal y contextos ambientales, socioeconómicos y culturales (Alves et al., 2022).

El fuego es uno de los agentes de disturbio forestal que cumple un papel relevante en la estructura y dinámica de los ecosistemas. La rápida sucesión originada por la regeneración post-incendio se considera un proceso de autosucesión (Hanes, 1971 citado por Habrouk, 2001), que se logra a través de dos mecanismos eficaces: el rebrote de estructuras resistentes al fuego (*Pinus oocarpa*, *Pinus caribaea*) y/o la germinación de semillas protegidas y almacenadas en el suelo o en la copa.

2.1.3. Dinámica de la regeneración natural de coníferas

Para las coníferas las aperturas de claros y bordes, son disturbios que favorecen el reclutamiento y establecimiento de la regeneración natural y de especies pioneras compatibles (Mora Parada et al., 2020). La regeneración de las especies de coníferas de Guatemala es favorecida por estos disturbios (Godínez et al., 2016), mecanismo de sucesión conocido como denudación o alteración¹ con predominio de los modelos de sucesión de inhibición² y tolerancia³ (Alcaraz Ariza, 2013; Sánchez Velásquez, 2003). Las figuras 4 y 5, ilustran el comportamiento de la distribución de la regeneración en bordes y claros de tres especies de coníferas en el altiplano occidental de Guatemala (Godínez et al., 2016).

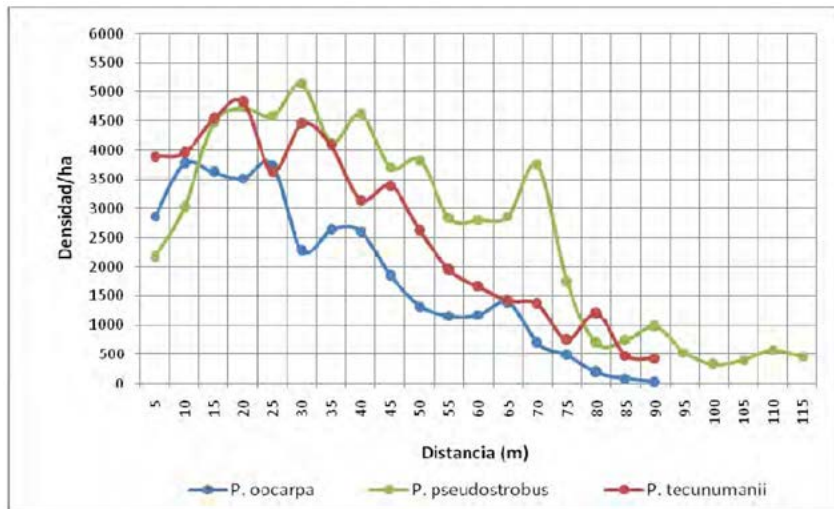


Figura 4: Comportamiento de la densidad de regeneración natural de pinos en función de la distancia de la fuente semillera en espacio de borde en bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala.

Fuente: Godínez et al., 2010.

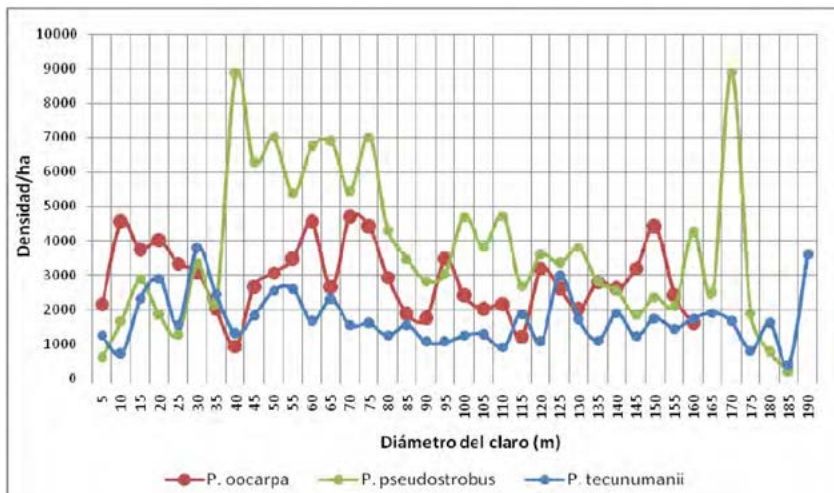


Figura 5: Comportamiento de la densidad de regeneración natural de pinos en función de la distancia de la fuente semillera en espacio de claros en bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala.

Fuente: Godínez et al., 2010.

¹ Creación de superficies de tierra desprovistas de vegetación.

² Se aplica cuando ciertas especies invaden primero, inhiben el crecimiento y desarrollo de otras especies y disminuyen la incorporación o invasión de los competidores de especies sucesionales tempranas y tardías. Solo pueden ser reemplazadas cuando están moribundas o mueren por enfermedad, depredación o fuego.

³ Sucede después de una perturbación, con el establecimiento de especies sucesionales de estadios tempranos y tardíos colonizando juntas.

Los pinos son buenos competidores debido a su alta tasa de crecimiento, eficiente absorción de nitrógeno y asociación simbiótica con hongos hectomicorrícicos y su tolerancia a temperaturas extremas (Mora Parada et al., 2020). Se establecen con mayor facilidad en las exposiciones norte, este y oeste (Godínez et al., 2010), tal como se ilustra en la figura 6. Como productores de resina, son resistentes a las infecciones y daños físicos (Mora Parada et al., 2020).

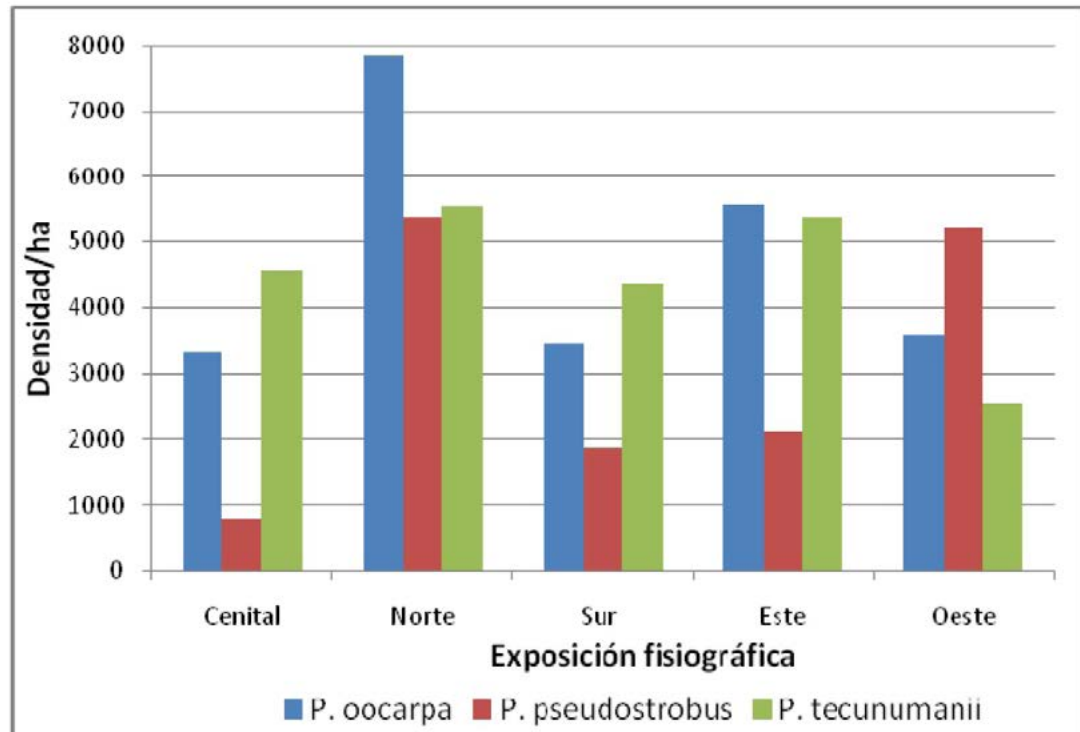


Figura 6: Respuesta de la capacidad de establecimiento de la regeneración natural de pinos en función de la exposición fisiográfica de los sitios de repoblación en bosques de coníferas del altiplano occidental de Guatemala. **Fuente:** Godínez et al., 2010.

2.2. Estructura y composición de los bosques de coníferas

Los bosques de coníferas definen su configuración o apariencia, a través de su estructura vertical y horizontal, influenciadas por las especies indicadoras asociadas.

2.2.1. Estructura vertical

Los bosques de coníferas presentan una estructura vertical configurada por doseles o niveles de copa, con un grado de complejidad influenciada por la clase de desarrollo de los fustes. Las estructuras simples se asocian con las etapas pioneras del bosque y las etapas maduras de sucesión ecológica se caracterizan por estructuras de varios doseles o niveles de copa, resultado de la presencia de más de una clase de desarrollo del fuste de las especies de árboles.

Las clases de desarrollo de la masa forestal de coníferas tienen correspondencia con los estados de sucesión forestal tal como se ilustra en la tabla 3. Esta característica estructural es clave para la evaluación y el análisis de los procesos de sucesión ecológica en bosques de coníferas basado en el tamaño del fuste (Godínez, 2021). La clasificación propuesta en la tabla 3, se fundamenta en el tamaño de los individuos y la estructuración de estratos o niveles de copa para configurar la clase de desarrollo y la agrupación de clases de desarrollo para conformar el estado de sucesión forestal. Esta tiene la característica de ser práctica y útil para identificar la etapa de sucesión ecológica y su composición estructural, en los procesos de evaluación de la calidad de los bosques de coníferas.

Tabla 3: Clases de desarrollo característicos en cada etapa sucesión ecológica.

Estado de sucesión forestal	Clase de desarrollo	Definición de la clase de desarrollo de árbol	Estratos**
Primaria o pionera	Inicial (I)	Sin presencia de regeneración*	Ninguno
	Plántula (P)	Individuos con altura máxima de 30 cm.	P
	Brinzal (B)	Individuos con altura mayor a 30 cm y dap máximo de 5 cm.	P+B
Secundaria o intermedia	Latizal (L)	Individuos con dap entre 5 y 10 cm.	P+B+L
	Fustal joven (Fj)	Individuos con dap entre 10 y 15 cm.	B+L+Fj
	Fustal maduro (Fm)	Individuos con dap entre 15 y 25 cm.	B+L+Fj+FM
Madura	Árbol (A)	Individuos con dap mayor a 25 cm.	A+Fm+Fj+L+B

Referencias: *presencia de hierbas y algunos arbustos; **corresponde a los niveles de copa y clases de desarrollo del componente arbóreo presente. Fuente: elaboración propia basada en Godínez et al., 2016.

2.2.2. Estructura horizontal

La estructura horizontal de un bosque es la distribución y organización de los árboles en una superficie en función de la cobertura, utilizando el área basal (AB), como indicador clave. La distribución espacial del AB y su magnitud tiene relación directa con la calidad del sitio, que es una manifestación de la influencia de la calidad del suelo, la altitud, la exposición, la precipitación pluvial.

Tabla 4: Área basal promedio en las diferentes clases de desarrollo de diferentes especies coníferas.

Especies de coníferas	Región Natural	Altitud m s. n. m.	Etapa de sucesión ecológica y AB en m ² /Ha				
			B	L	Fj	Fm	A
<i>Abies guatemalensis</i> ^a	TAV	3,500	8,5	28,2			31-60
<i>Cupressus lusitanica</i> ^c	TAV	3,200					33
<i>Cupressus lusitanica</i>	TCAN	3,300		9,7 ^e	15,6 ^e		
<i>Pinus hartwegii</i>^a	TAV	3,500				20,3	
<i>Pinus hartwegii</i>	TCAN	3,300			10,7^e	14,8^e	
<i>Pinus oocarpa</i>^b	TAV	1,410					13-18
<i>Pinus oocarpa</i>^b	TCAN	1,165					11-18
<i>Pinus pseudostrobus</i> ^b	TAV	2,186					18-28
<i>Pinus pseudostrobus</i> ^b	TCAN	2,241					18
<i>Pinus tecunumanii</i>^b	TAV	2,466					18-41
<i>Pinus tecunumanii</i>^b	TCAN	1,775					18-26
<i>Pinus maximinoi</i> ^c	TCAN	1,300	0.3-0.7	4-12	8-24	14-35	18-46
<i>Pinus maximinoi</i> ^f	TCAN	CS pobre	1.0	3.0	9.0	11	15
		CS medio	2.0	5.0	17.0	23	28
		CS bueno	3.0	10.0	29.0	36	42

Fuente: elaboración propia basada en ^aGodínez et al., 1995; ^bGodínez et al., 2010; ^cOchoa Ochoa, 17; ^dLemus López, 2017; ^eInstituto Nacional de Bosques, 2014; ^fAsociación Civil no lucrativa Mesa Forestal y Ambiental-ACMEFAR Región VII, 2014; ^gInstituto Nacional de Bosques, 2019. Referencias: en negrilla= contraste de cobertura de la misma especie para cada región natural. CS: calidad de sitio.

La tabla 4 documenta los resultados de investigaciones en bosques naturales, compilando la magnitud del espacio o cobertura de ocupación en AB por clase de desarrollo en m²/ha, para las dos regiones naturales donde predomina la distribución de los bosques de coníferas, lo que permite identificar cuatro fuentes de variación de cobertura en AB. La primera relacionada con las etapas de sucesión ecológica, variando según la clase de desarrollo para cada especie. La segunda variación es interespecífica, presentándose diferentes magnitudes de AB para la misma clase de desarrollo y región natural. La tercera se relaciona con la región natural, evidenciando una tendencia a la variación de cobertura para la misma especie en diferente región natural, con menores valores de AB en suelos de origen kárstico que ocupan la Región de Tierras Calizas Altas del Norte -TCAN-, y los mayores valores de AB en los suelos de origen volcánico pertenecientes a la Región de Tierras Altas Volcánicas -TAV. Finalmente, la otra variable que influye en la magnitud de cobertura en el área de distribución de los bosques de coníferas es la altitud.

El contexto analizado permite inferir que el AB es un indicador del potencial productivo de un sitio y de la calidad de la cobertura forestal para cada especie. Al ser variable su magnitud según la clase de desarrollo, la especie, la región natural y la altitud, es pertinente desarrollar los parámetros específicos de cobertura para utilizarlo como indicador del grado de degradación forestal de los bosques de coníferas. Definiendo sus límites mínimos y máximos para cada clase de desarrollo y variación ambiental dentro de cada región natural.

2.3. Características ecológicas del ecosistema ripario o de galería

2.3.1. Características relevantes de los ecosistemas riparios

Los ecosistemas riparios o ribereños constituyen la interfase entre los ecosistemas terrestres y los acuáticos en sus diferentes estratos verticales, incluidas las herbáceas (Romero et al., 2014; Vásquez et al., 2015) y a través de la red de ríos y quebradas transportan nutrientes, sedimentos y sales a lo largo de gradientes longitudinales y altitudinales (Acosta et al., 2014; Meli et al., 2013). La adaptación a la diversidad de regímenes de disturbio hidrológico (frecuencia, magnitud y duración de caudales extremos) y regímenes de movimiento de nutrientes (frecuencia, magnitud del transporte y tamaño de partículas), influyen en los patrones de desarrollo y estructura del ecosistema ribereño. Estos patrones lo determinan tres procesos y sus interacciones: (1) la respuesta a los disturbios, (2) la dinámica interna del suelo y (3) las características biológicas en la trayectoria de sucesión (Meli et al., 2013).

Se caracterizan por ser el hábitat de una comunidad vegetal diversa en suelos húmedos la mayor parte del tiempo, estructurada en tiempo y espacio a lo largo de gradientes longitudinales, laterales y verticales (Meli et al., 2013).

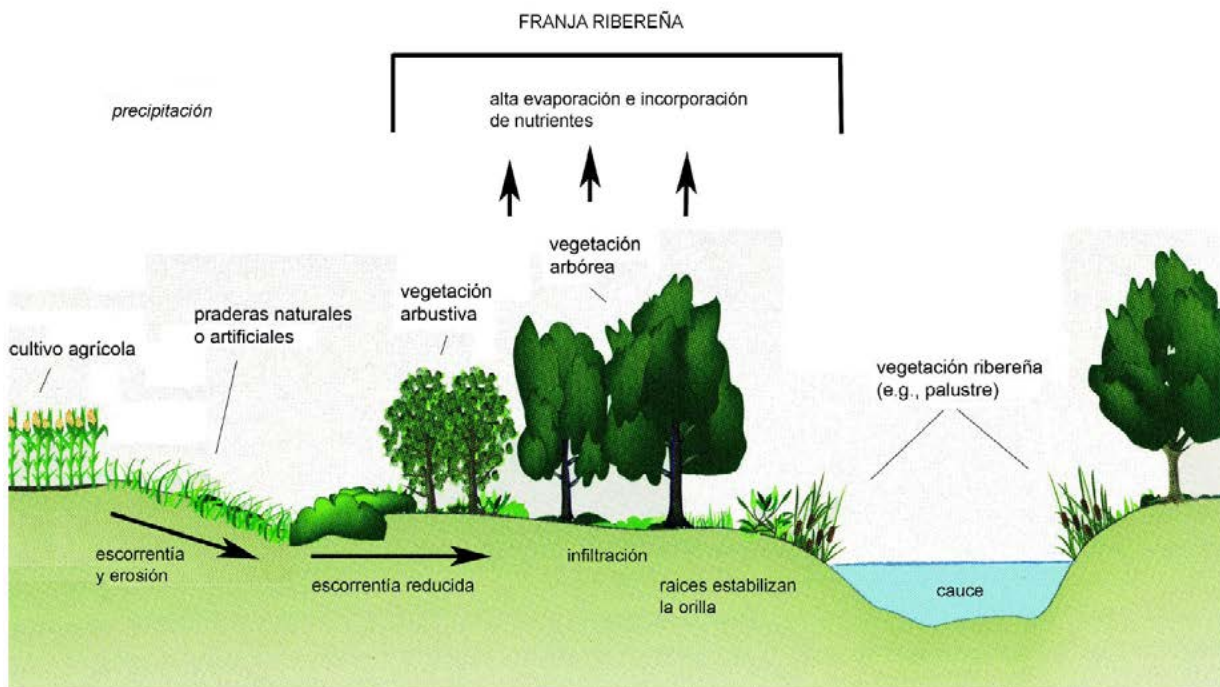


Figura 7: Modelo de zona ribereña de un río. Ilustración modificada de González Tánago & García de Jalón (2007) citado en Möller, 2011.

2.3.2. Estructura de la zona ribereña

Las franjas de protección o zonas de amortiguamiento cercanas a los cursos de agua generalmente se sustentan en la conservación de la biodiversidad y en la habilitación de corredores biológicos para la vida silvestre (Romero et al., 2014). Las dimensiones estarán también sujetas a las necesidades y objetivos de conservación o manejo y a la persistencia de uso del suelo a lo largo de los cursos de agua (Romero et al., 2014).

La figura 8 ilustra una propuesta de zonificación con dimensiones derivadas del tipo de curso de agua, la pendiente, las características y dimensiones del cauce.

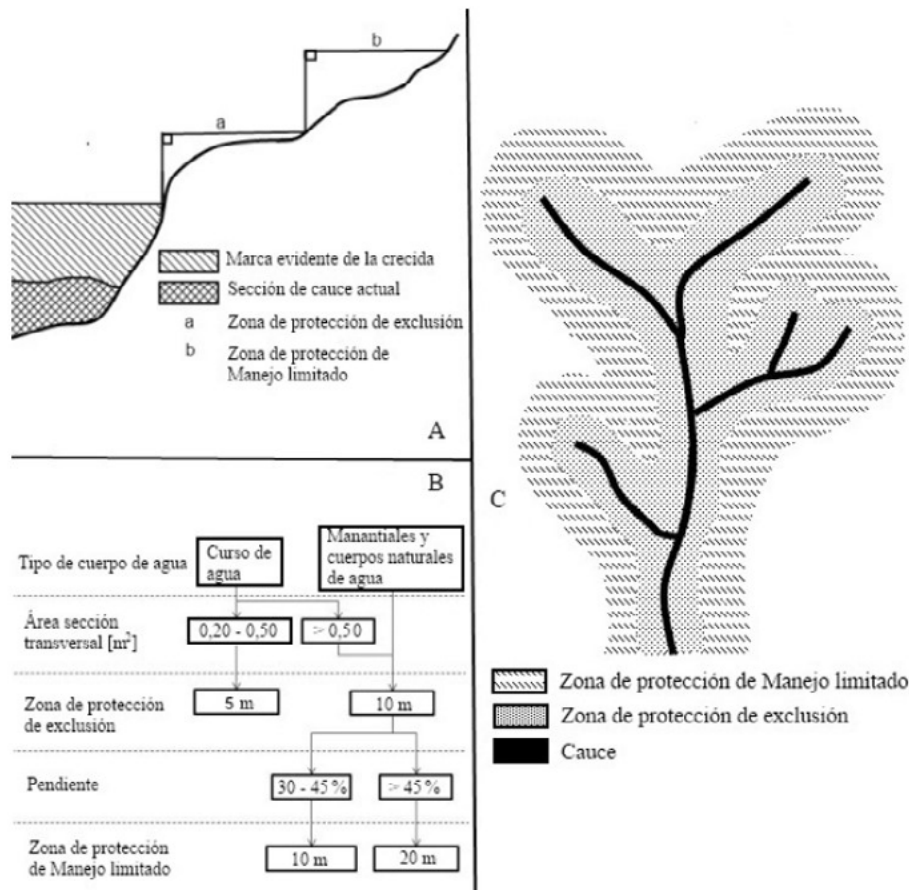


Figura 8: Estructura y dimensiones de las zonas de protección en función de (A) las características de la sección transversal, (B) las dimensiones del canal natural o cauce, definiendo (C) las zonas de protección de exclusión y de manejo limitado.

Fuente: Romero.

Resultado de investigaciones se han determinado las dimensiones de la zona ribereña en función de la altura promedio de los árboles dominantes y la densidad de drenaje de las cuencas, definiendo 15 m para bosque seco montano bajo, 25 m para el bosque húmedo montano y 29 m para el bosque muy húmedo montano (Bravo-Sossa et al., 2019). Otros estudios indican que cuando el área de drenaje excede de 100 ha y en áreas más pequeñas donde la precipitación es alta y el suelo es susceptible a la erosión, se recomiendan franjas de amortiguamiento mayores a 10 m en cada ribera y de 5 a 6 m son suficientes para cursos de agua pequeños (Möller, 2011). Esta última consideración coincide con la propuesta de Romero et al., (2014).

2.3.3. Estructura horizontal y biodiversidad del bosque ripario

La vegetación riparia se clasifica generalmente en bandas (variación lateral) que más bien son tendencias de las especies que forman estos bosques, con respecto al eje longitudinal del cauce (Magdaleno Mas, 2011). La variación de diversidad florística lateral, abarca el espacio desde el cauce hacia tierra firme; cerca del cauce se establecen especies adaptadas a condiciones de luz elevada y pocos nutrientes (primera banda) y en niveles más altos alejados del cauce existen especies de ciclo más largo (segunda banda), con frecuencia arbustos, tolerantes a la sombra y a las inundaciones (Meli et al., 2013). Este comportamiento transversal es lo que permite la definición de bandas longitudinales o estratos horizontales y una estructura vertical de doseles o estratificación vertical.

Primera banda: está integrada por vegetación que enraíza bajo el agua, pero que mantienen emergidas la mayor parte del tallo y las hojas, son típicos las especies de carrizos (*Phragmites sp.*), las cañas (*Chusquea sp.*, *Arundo donax*) y las espadañas (*Typha sp.*). Esta vegetación es el resultado de la destrucción del estrato arbóreo y acumulación de materia orgánica resultado de actividades agropecuarias (Magdaleno Mas, 2011).

Segunda banda: comprende la vegetación riparia arbustiva y arbórea, de importancia por su eficaz protección de las orillas, generalmente son especies con gran capacidad de regeneración (rebrotos, reproducción por estacas y sus semillas y frutos poseen adaptaciones para la colonización de nuevos ambientes riparios) (Magdaleno Mas, 2011). Los mecanismos de dispersión en los ambientes riparios se relacionan principalmente con el agua-hidrocoría-, y en menor proporción por el viento -anemocoría- y los animales -zoocoría-, fenómenos que contribuyen a moldear la estructura de la flora ribereña y explican los patrones de distribución de las especies (Ramírez-Soto et al., 2021).

La destrucción parcial o total de esta vegetación consecuencia de las avenidas se compensa con la rápida recolonización. La diversidad arbórea frecuente en esta banda incluye a los sauces (*Salix sp.*), alisos (*Alnus sp.*), álamos (*Populus sp.*) (Camprodon, Ferreira, & Ordeix, 2012; Magdaleno Mas, 2011), ahuehuti o sabino (*Taxodium huegelii*) (Standley & Steyermark, 1947/1977), los cerezos (*Prunus sp.*), aliso blanco (*Ostrya sp.* y *Carpinus sp.*), haya (*Platanus sp.*), robles y encinos (*Quercus sp.*), amate (*Ficus sp.*), paterna (*Inga sp.*) (Ramírez-Soto et al., 2021; Godínez et al., 2017).

2.3.4. Estructura vertical del bosque ripario

El bosque de ribera generalmente presenta una organización vertical de tres estratos. 1) Estrato arbóreo: generalmente integrado por varias especies dispuestas en bandas y con frecuencia dominado por una sola especie en cada banda. Las especies generalmente son árboles planocaducifolios, que proporcionan sombra intensa a los estratos inferiores. 2) Estrato arbustivo: es habitual su presencia en los claros y bordes del bosque, definiendo una banda arbustiva próxima al cauce. 3) Estrato herbáceo: formado por plantas típicas del interior de bosques, sobresaliendo los helechos, plantas bulbosas y abundancia de especies nitrófilas debido al aporte continuo, de materiales orgánicos arrastrados por el río. 4) Estrato de epífitas: formado por musgos, hepáticas y líquenes que son abundantes y diversos (Magdaleno Mas, 2011), este es componente estructural propio del ecosistema ribereño y a la vez su presencia indicará una buena salud y funcionalidad.

2.3.5. Degradación de zonas ribereñas y criterios de evaluación

Las zonas ribereñas menos conservadas presentan una baja diversidad florística en especial los helechos y epífitas sensibles y evidencian una disminución del número y tamaño de los árboles. En los sitios con perturbación intermedia la vegetación es alta, incluso mayor que los sitios conservados (Vásquez et al., 2015).

La evaluación de la calidad de la zona de ribera utiliza como indicadores el *grado de cobertura vegetal* determinado por el porcentaje de cobertura y la conectividad de la vegetación ribereña con las comunidades aledañas y la *calidad de la cubierta* determinada por la proporción de vegetación nativa, manifestaciones de disturbio (quemadas o incendios, raíces expuestas), las clases de uso incompatibles (senderos, caminos, construcciones, dragado, minería informal) del territorio ribereño (Acosta et al., 2014). También define la calidad de la zona ribereña el *grado de naturalidad del canal fluvial*, mismo que es degradado por modificaciones por alteración de su estructura natural, presencia de estructuras sólidas dentro del lecho, de derivación del caudal, presencia de basura y usos contaminantes físicos y químicos (Acosta et al., 2014).

2.3.6. Protección y restauración de taludes de las zonas ribereñas

a. Función protectora y estabilizadora de la vegetación ribereña

La vegetación ribereña da mayor cohesión al suelo a través de su sistema radicular, aumentando la resistencia a la erosión e influye en el tipo de cauce, en la rugosidad y velocidad del caudal (González del Tánago & García de Jalón, 2001), que luego define la condición del talud. La existencia o restauración de coberturas vegetales es una alternativa que previene los procesos erosivos (Sancho y Cervantes, 1997 citado por Alvarado et al., 2014), al incrementar la resistencia hidráulica del terreno al incrementar la estabilidad de los agregados del suelo (Alvarado et al., 2014).

Para el manejo y rehabilitación de taludes las especies nativas poseen un valor ecológico y tienen la capacidad de retención de sedimentos y escorrentía, el incremento de la infiltración (Alvarado et al., 2014; Rodríguez-Olarte et al., 2020). Las especies ideales para la protección de taludes son las de hábito herbáceo o arbustivo, con un sistema radicular profundo y fasciculado, densa cobertura (follaje), tolerancia a condiciones desfavorables, rápida propagación y disponibilidad de germoplasma; cumplen estos criterios la caña agria y las platanillas de los géneros *Costus* y *Heliconia* respectivamente (Alvarado et al., 2014).

b. Diversidad promisoría para la restauración del bosque ripario montano

Las diversidad de especies más frecuentes o dominantes y exclusivas de los bosques de ribera son *Alnus acuminata ssp arguta*, *Pinus devoniana*, *Salix bonplandiana* y el arbusto *Baccharis salicifolia* Ruíz et Pavón, acompañados de *Oreopanax xalapensis*, *Prunus rhamnoides*, *Prunus serotina*, *Quercus castanea*, *Saurauia sp.*, *Taxodium huegelii* y especies de los géneros *Acacia*, *Buddleja*, *Juniperus*, *Quercus* (Godínez S. M., 2021; Rodríguez-Tellez et al, 2016; Santiago-Pérez et al., 2014).

Según el grado de perturbación del bosque de ribera, recomiendan para ambientes con alta luminosidad *Ficus insipida*, *Inga oerstediana*, *Pachira aquatica* y las especies de ambientes de sombra *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba* (Meli et al., 2013). Para acelerar la restauración de la cobertura de zonas ribereñas, se recomienda el sistema de manejo de parches, utilizando especies del género *Salix* (Datri et al., 2013).

2.4. Diversidad de especies indicadoras de sucesión ecológica en el ecosistema de coníferas

La definición de especies indicadoras de sucesión ecológica, corresponde al criterio de grupo ecológico funcional que se basa en la preferencia demostrada de una especie por una etapa de sucesión ecológica (Godínez S. M., 2021; Godínez et al., 2017; Muñiz Castro, 2008; Ramírez et al., 1998). En las primeras etapas predominan las hierbas y arbustos y la presencia de árboles de la mayoría de especies coníferas (Godínez et al., 2010) y algunas latifoliadas, las que se catalogan como especies pioneras (Jardel-Peláez et al., s.f.). En estas etapas se evidencia la tolerancia a la luz solar, limitaciones de agua y suelos pobres.

Posteriormente en cada etapa de avance de la sucesión, se establecen y desarrollan especies con tolerancia progresiva a la sombra, hasta culminar con las que son dependientes de la misma. Se puede observar en su mayoría las especies arbustivas, algunas especies de coníferas y la mayoría de especies latifoliadas asociadas, vinculadas a la etapa secundaria y madura (Godínez S. M., 2021; Godínez et al., 2017; Jardel-Peláez et al., s.f.).

2.4.1. Etapa de sucesión ecológica primaria o pionera

Esta etapa de sucesión se caracteriza porque la mayoría de especies arbóreas indicadoras calificadas, pertenecen a los pinos, varias especies del género de los encinos o robles (*Quercus*) y del género de los alisos (*Alnus*) (Godínez S. M., 2021; Rodas Duarte et al., 2018; The Plant List, 2013; Standley & Steyermark, 1947/1977). En la tabla 5, se contabilizan 22 especies, distribuidas en 15 especies de árboles que tienen afinidad sucesional por esta etapa. Los géneros *Pinus*, *Quercus* y las especies *Liquidambar styraciflua*, *Abies guatemalensis*, *Alnus acuminata*, *A. jorulensis*, *Carpinus caroliniana* y *Cornus disciflora* tienen comportamiento intolerante a la sombra y son los árboles que se establecen en los claros (Jardel-Peláez et al., s.f.). Cuatro especies de arbustos y tres herbáceas con dominancia de la familia Asteraceae. Predominan en esta etapa las especies demandantes de luz.

2.4.2. Etapa de sucesión secundaria o intermedia

En esta etapa la diversidad de especies indicadoras calificadas suma 29 según se detalla en la tabla 6, con 14 especies de árboles, 9 especies de arbustos y 6 herbáceas. Las familias con más de una especie son Fagaceae, Rhamnaceae, Rosaceae, Onagraceae, Asteraceae, Ericaceae y Lamiaceae. Predomina la participación de especies latifoliadas tolerantes a la sombra, en asocio con la diversidad de especies pinos en las clases de desarrollo de fustal maduro y árbol (Godínez et al., 2017; Rodas Duarte et al., 2018), que son los proveedores de la regulación de la luz.

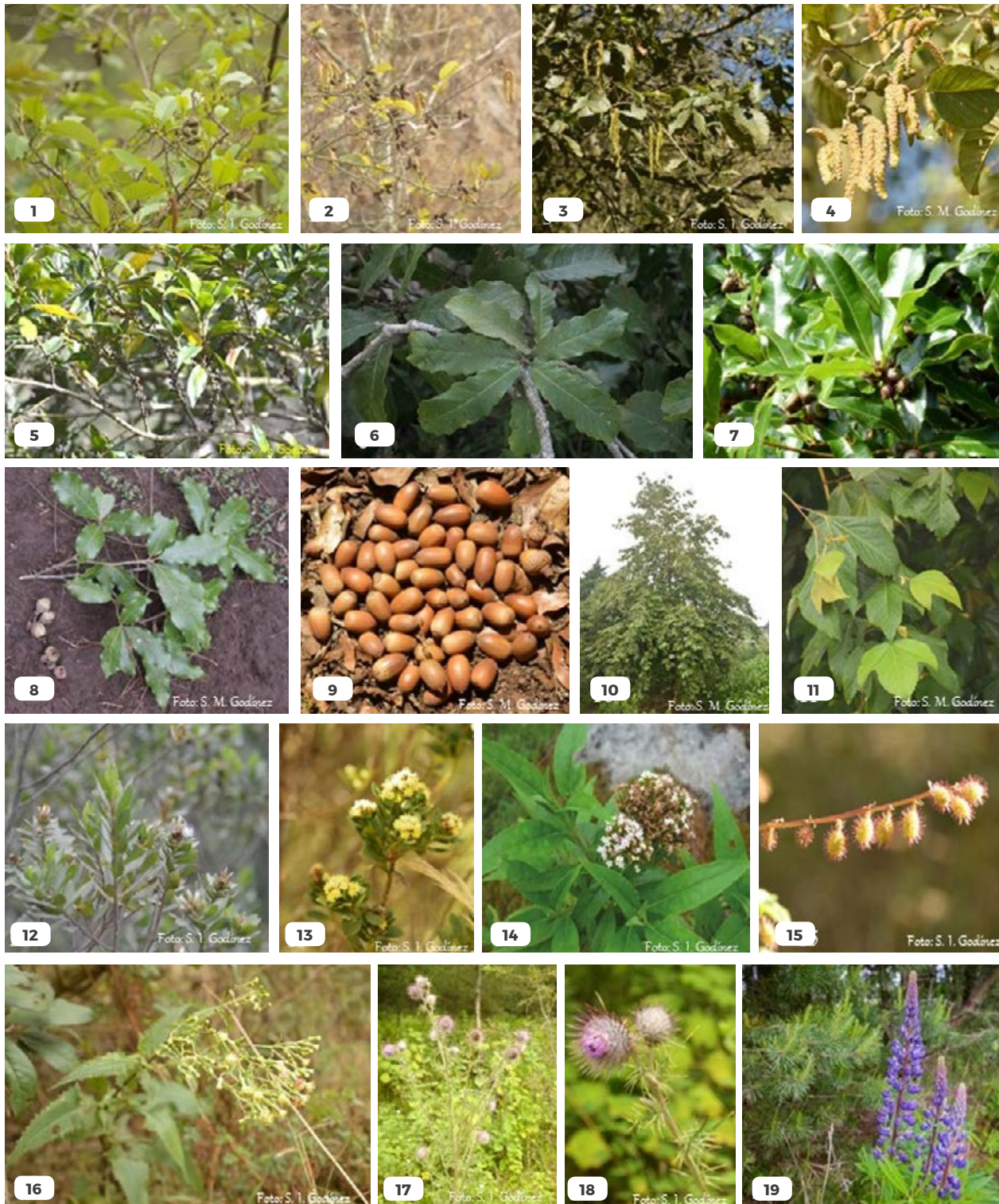
2.4.3. Etapa de sucesión madura o tardía

Tabla 5: Listado de especies indicadoras de la etapa sucesión ecológica pionera.

No.	Familia	Nombre científico	Nombre común	HC
1	Cupresaceae	<i>Juniperus comitana</i> Martínez	Cipresillo	A
2	Cupresaceae	<i>Juniperus standleyi</i> Steyerem.	Huito	A
3	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> subsp. <i>arguta</i> (Schltdl.) Furrow	Aliso, ílamo, lemop	A
4	Betulaceae	<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	Aliso, ílamo, lemop	A
5	Fagaceae	<i>Quercus ocoteifolia</i> Liebm.	Encino	A
6	Fagaceae	<i>Quercus peduncularis</i> Née	Roble	A
7	Fagaceae	<i>Quercus seemannii</i> Liebm.	Roble	A
8	Pinaceae	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl	Pino colorado	A
9	Pinaceae	<i>Pinus tecunumanii</i> F. Schwerdtf. ex Eguiluz & J. P. Perry	Pino ocote	A
10	Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino triste	A
11	Pinaceae	<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	Pino candelillo	A
12	Pinaceae	<i>Pinus montezumae</i> Lamb.		A
13	Pinaceae	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	Pino ocote	A
14	Pinaceae	<i>Pinus caribaea</i> Morelet	Pino caribe	A
15	Platanaceae	<i>Platanus chiapensis</i> Standl.	Haya, sicomoro, álamo	A
16	Asteraceae	<i>Baccharis vaccinioides</i> HBK.	Arrayán	Ar
17	Asteraceae	<i>Stevia polycephala</i> Bertol.	Chicajol	Ar
18	Caprifoliaceae	<i>Symphoricarpos microphyllus</i> Kunth	Escobo	Ar
19	Rosaceae	<i>Acaena elongata</i> L.	Mozote	Ar
20	Asteraceae	<i>Cirsium subcoriaceum</i> (Less.) Sch.	Cardosanto	H
21	Asteraceae	<i>Senecio doratophyllus</i> Benth.	Hierba de conejo	H
22	Leguminosae	<i>Lupinus montanus</i> HBK.	Frijol de coyote	H

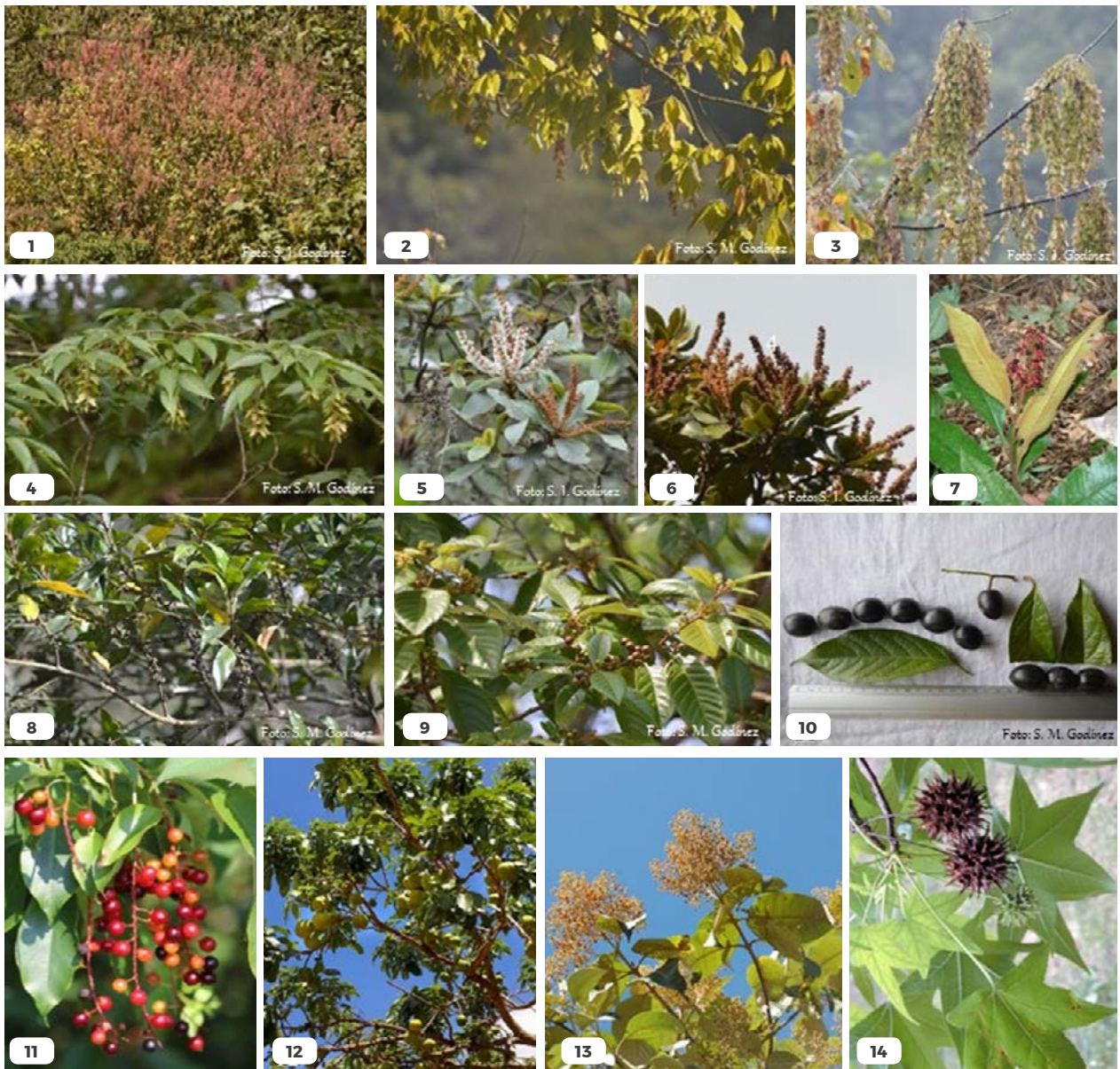
Referencias: HC: hábito de crecimiento, A: árbol, Ar: arbusto, H: hierba.

En esta etapa la diversidad de especies indicadoras calificadas de la etapa madura de sucesión ecológica suma 24, dominando los árboles con 19 especies, las arbustivas y herbáceas se limitan a 5 especies. En esta figuran tres especies de coníferas y resalta la diversidad de la familia Araliaceae y Pentaphragaceae. La cobertura de sombra la facilitan los pinos y encinos en las clases de desarrollo de árbol principalmente (Godínez et al., 2017)



Especies de árboles, arbustos y herbáceas indicadoras de etapa de sucesión pionera: **1, 2** *Alnus acuminata* subsp. *arguta*, **3,4** *Alnus jorullensis*, **5** *Morella cerifera*, **6** *Quercus peduncularis*, **7** *Quercus seemannii*, **8, 9** *Quercus ocoteifolia*, **10, 11** *Platanus chiapensis*, **12, 13** *Baccharis vaccinioides*, **14** *Stevia polycephala*, **15** *Acaena elongata*, **16** *Senecio doratophyllus*, **17, 18** *Cirsium subcoriaceum*, **19** *Lupinus montanus*.

Figura 9: Especies indicadoras de la etapa de sucesión primaria o pionera.



Especies de árboles indicadoras de etapa de sucesión secundaria: **1, 2, 3** *Acer negundo* var. *mexicanum*, **4** *Carpinus caroliniana* var. *tropicalis*, **5, 6** *Clethra mexicana*, **7** *Parathesis tartarea*, **8** *Morella cerifera*, **9, 10** *Frangula discolor*, **11** *Prunus serótina* subsp. *capuli*, **12** *Casimiroa edulis*, **13** *Buddleja skutchii*, **14** *Liquidambar styraciflua* (Imágenes 11 a 14 obtenidas de internet).

Figura 10: Especies características de la etapa de sucesión secundaria o intermedia.

Tabla 6: Listado de especies de la etapa de sucesión ecológica secundaria o intermedia

No.	Familia	Nombre científico	Nombre común	HC
1	Aceraceae	<i>Acer Negundo</i> var. <i>mexicanum</i> (DC.) Standl. & Steyerl.	Palo de azúcar	A
2	Betulaceae	<i>Carpinus caroliniana</i> var. <i>tropicalis</i> Bonn. Smith	Duraznillo	A
3	Clethraceae	<i>Clethra mexicana</i> DC	Tulul che	A
4	Myricaceae	<i>Morella cerifera</i> (L.) Small	Arrayán, cera	A
5	Primulaceae	<i>Parathesis tartarea</i> Lundell		A
6	Rhamnaceae	<i>Frangula discolor</i> (Donn.Sm.) Grubov	Aliso de Santiago	A
7	Rosaceae	<i>Prunus serótina</i> subsp. <i>Capulí</i>	Cerezo, capulín	A
8	Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i> La Llave	Matasano	A
9	Scrophulariaceae	<i>Buddleja skutchii</i> Morton	Salvia	A
10	Ulmaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Capulín	A
11	Chlorantaceae	<i>Hedyosmum mexicanum</i> C. Cordem.	Te maya	A
12	Fagaceae	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Encino	A
13	Fagaceae	<i>Quercus castanea</i> Née	Encino triste	A
14	Hamamelidaceae	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Tzoté, liquidambar	A
15	Asteraceae	<i>Eupatorium semialatum</i> Benth.		Ar
16	Asteraceae	<i>Senecio barba-johannis</i> DC.		Ar
17	Ericaceae	<i>Comarostaphylis arbutoides</i> Lindl.	Madroncillo	Ar
18	Ericaceae	<i>Gaultheria odorata</i> Willd.		Ar
19	Onagraceae	<i>Fuchsia microphylla</i> HBK.		Ar
20	Onagraceae	<i>Fuchsia splendens</i> Zucc.	Platanitos	Ar
21	Polygalaceae	<i>Monnina xalapensis</i> HBK.	Tinta, collar reina	Ar
22	Rhamnaceae	<i>Ceanothus coeruleus</i> Lagasca	Palo alambre	Ar
23	Rosaceae	<i>Holodiscus argenteus</i> (L. f.) Maxim	Mimbres	Ar
24	Lamiaceae	<i>Salvia cinnabarina</i> Mart. & Gal.	Pico gorrión	H
25	Lamiaceae	<i>Salvia lavanduloides</i> HBK.		H
26	Campanulaceae	<i>Lobelia laxiflora</i> HBK.	Chilitos	H
27	Liliaceae	<i>Smilacina flexuosa</i> Bertol	Flor de reina	H
28	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Jaboncillo	H
29	Iridaceae	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i> var <i>centroamericanus</i> Steyermark		H

Referencias: HC: hábito de crecimiento, A: árbol, Ar: arbusto, H: hierba.



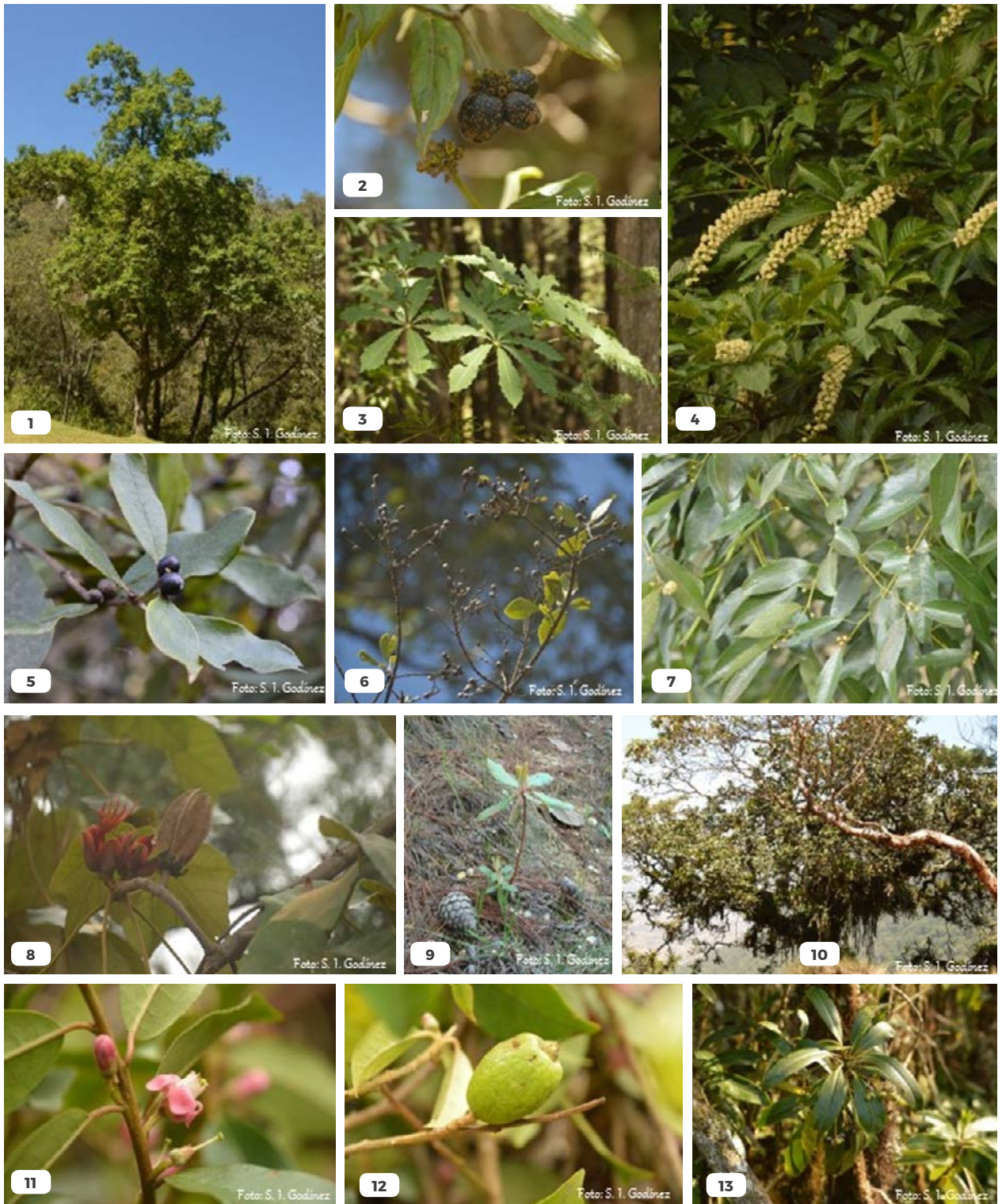
Especies de árboles indicadoras de etapa de sucesión secundaria: **1, 2,3** *Trema micrantha*, **4, 5** *Hedvosmum mexicanum*, **6, 7** *Quercus crassifolia*, **8** *Quercus castanea*. Especies de arbustos indicadoras de etapa de sucesión secundaria: **9, 10** *Eupatorium semialatum*, **11, 12** *Senecio barbajohamis*, **13** *Fuchsia splendens*.

Figura 11: Especies características de la etapa de sucesión secundaria o intermedia.

Tabla 7: Listado de especies indicadoras de la etapa de sucesión ecológica tardía o madura.

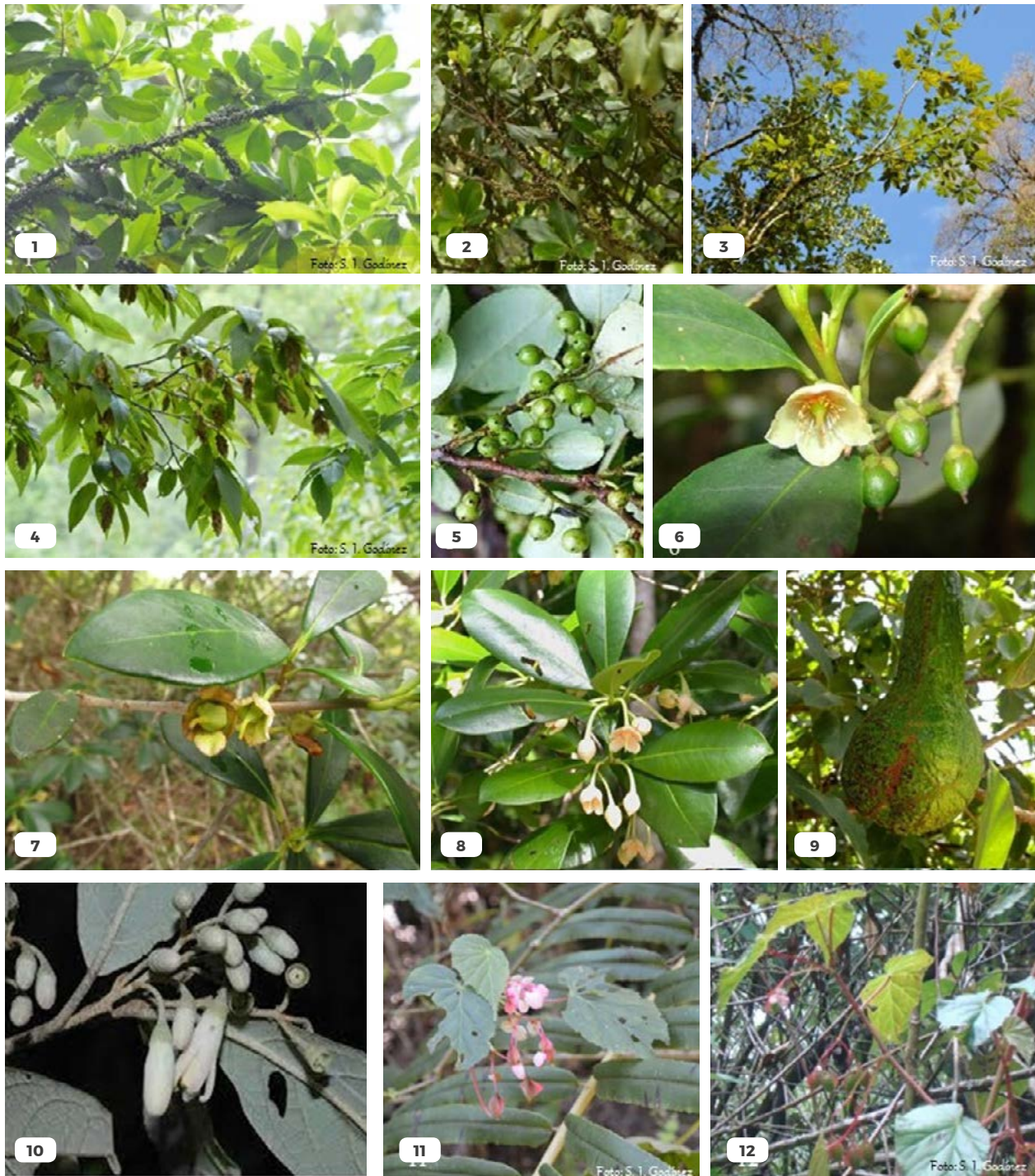
No.	Familia	Nombre científico	Nombre común	HC
1	Rosaceae	<i>Prunus rhamnoides</i> Koehne	Capulín	A
2	Cornaceae	<i>Cornus disciflora</i> Moc. & Sessé ex DC.		A
3	Araliaceae	<i>Oreopanax capitatus</i> (Jacq.) Decne. & Planch.	Hoja de cuete, poj	A
4	Araliaceae	<i>Oreopanax echinops</i> (Schlecht. & Cham.) Decne. & Planch.		A
5	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. & Planch.		A
6	Betulaceae	<i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Winkl.) Macbride	Tatiscoba, aliso blanco	A
7	Garryaceae	<i>Garrya laurifolia</i> Benth.	K'atze	A
8	Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	Laurel	A
9	Pentaphylacaceae	<i>Cleyera theoides</i> (Sw.) Choisy		A
10	Pentaphylacaceae	<i>Ternstroemia tepezapote</i> Cham. & Schldtl.		A
11	Malvaceae	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i> Larreat.		A
12	Primulaceae	<i>Myrsine juergensenii</i> (Mez) Ricketson & Pipoly		A
13	Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Chulube, madrón	A
14	Symplocaceae	<i>Symplocos hartwegii</i> A. DC.	Aceituno	A
15	Winteraceae	<i>Drimys granadensis</i> L.f.	Chilillo, palo chile	A
16	Lauraceae	<i>Persea schiedeana</i> Nees	Coyeu, chupte	A
17	Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Ciprés común	A
18	Pinaceae	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	Pinabete	A
19	Pinaceae	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schldtl.	Pino blanco	A
20	Asteraceae	<i>Senecio cobanensis</i> (Coulter) Grenm.		Ar
21	Begoniaceae	<i>Begonia oaxacana</i> A. DC.		Ar
22	Scrophulariaceae	<i>Buddleja nitida</i> Benth. & DC.	Salvia	Ar
23	Leguminosae	<i>Acacia pennatula</i> (Schldtl. & Cham.) Benth.		Ar
24	Pyrolaceae	<i>Chimaphilla umbellata</i> (L.) Nutt.	Pirola	H

Referencias: HC: hábito de crecimiento, A: árbol, Ar: arbusto, H: hierba.



Especies de árboles indicadoras de etapa de sucesión ecológica madura: **1** *Prunus rhamnoides*, **2** *Cornus disciflora*, **3** y **4** *Oreopanax xalapensis*, **5** y **6** *Garrya laurifolia*, **7** *Litsea glaucescens*, **8** *Chiranthodendron pentadactylon*, **9** y **10** *Arbutus xalapensis*, **11** y **12** *Symplocos hartweggi*, **13** *Drimys granadensis*.

Figura 12: Especies indicadoras de la etapa de sucesión ecológica madura.



Especies de árboles indicadoras de etapa de sucesión ecológica madura: **1, 2** *Myrsine juergensenii*, **3** *Oreopanax echinops*, **4** *Ostrya virginiana*, **5, 6** *Cleyera theoides*, **7, 8** *Ternstroemia tepezapote*, **9** *Persea schiedeana*, **10** *Styrax argenteus* (imágenes 5 a 10 son diversos sitios de internet).
Especies de arbustos indicadoras de etapa de sucesión ecológica madura: **11, 12** *Begonia oaxacana*.

Figura 13: Especies indicadoras de la etapa de sucesión ecológica madura.

3.

Sección III. Degradación de los bosques de coníferas

3.1. Degradación de los bosques

La teoría ecológica considera dos términos para saber cómo se produce el deterioro de un bosque: Tensión y disturbio. Tensión es el conjunto de estímulos de cambio que se producen en el ecosistema y pueden ser o no generadores de disturbios. Disturbio por su parte, se comprende como una serie de eventos en el tiempo que alteran la estructura del ecosistema y que cambia la disponibilidad de recursos (función). Los disturbios pueden ser naturales o antrópicos y se evidencia en la aparición de claros, pérdida total o parcial de suelo y bosque y también en cambios microclimáticos (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015).

Para efectos de la aplicación de La Ley PROBOSQUE (Decreto 02-2015), se ha definido como Tierras forestales degradadas, “Tierras que fueron dañadas por malas prácticas de uso, incendios u otras alteraciones que dañan el suelo, la vegetación y otros componentes de la biodiversidad biológica; a tal punto que han perdido las características estructurales y funcionales de los ecosistemas forestales”.

3.2. Evaluación de la degradación del bosque de coníferas y zonas riparias

La definición de nivel de deterioro de los bosques de coníferas y zonas riparias asociadas, se fundamenta en los criterios científicos relacionados con el componente biológico con el enfoque en su estructura y diversidad, el componente edáfico y la dinámica natural y antrópica del ecosistema.

3.3. Criterios de evaluación exclusivos de los bosques de coníferas

3.3.1. Criterio: estructura vertical

La estructura es la forma en la que los diferentes elementos del sistema se organizan en el espacio (Kimmins, 1997). Las variaciones en las dimensiones de los árboles (Gadow & Hui, 1999; Franklin et al., 2002 citado por Castellanos-Bolaños et al., 2008) descritas por medio de las variables de diámetro y altura describen la estructura vertical (Castellanos-Bolaños et al., 2008).

La evaluación de este criterio se fundamenta en la diversidad de doseles o estratos verticales presentes, que corresponden a las clases de desarrollo del componente arbóreo, dimensiones y definiciones detalladas en la tabla 3 (plántula, brinzal, latizal, fustal joven, fustal maduro y árbol).

Caso especial de la magnitud de las dimensiones de las clases de desarrollo para *Juniperus standleyi* de ecosistema de coníferas de la meseta de la Sierra de los Cuchumatanes, falda y cima del volcán Tacaná, se propone el desarrollo de una clasificación para este tipo de vegetación denominada enana o de bosques enanos.

3.3.2. Criterio: disturbios naturales

Las perturbaciones eran consideradas como sucesos catastróficos y exógenos que afectaban los ecosistemas (White, 1979 citado por Habrouk, 2001). El concepto se ha ampliado a “un acontecimiento distinto, tanto natural como inducido por el hombre, que origina un cambio en las características de los ecosistemas” (Kaufmann et al., 1994 citado por Habrouk, 2001). Se consideran como un proceso de cambio del ecosistema que afecta negativamente las características del bosque (Simula, 2009 citado por Armenteras et al., 2016). Los fenómenos que tienen el potencial de causar daños al bosque son los vientos y los deslaves que pueden manifestarse por medio de claros con diversas magnitudes.

A. Claros dentro del bosque

Las perturbaciones naturales frecuentes producen claros en el bosque y las perturbaciones a gran escala favorecen generalmente a especies intolerantes a la sombra (Pickett y Thompson 1978 citado por Habrouk, 2001).

B. Evidencia de vientos fuertes

Los vientos causan perturbaciones en la estructura del bosque y promueven cambios en la dinámica que afecta la composición forestal.

C. Evidencia de deslaves

Los deslaves por definición eliminan total o parcialmente la vegetación forestal y de sotobosque, lo que implica un proceso de recuperación natural en función del nivel de degradación generado y su magnitud.

3.4. Criterios de evaluación aplicables a los bosques de coníferas y riparios

3.4.1. Criterio: cobertura de copas

Para comprender mejor las definiciones de degradación de los bosques, es pertinente acudir a las definiciones de cobertura vegetal o cobertura boscosa. **Cobertura vegetal:** según la definición de cobertura del suelo comprende la superficie de suelo o tierra ocupada por algún tipo de hábitat natural, seminatural, cultural, industrial, terrestre, acuático o indefinido (Kappelle, 2004). **Cobertura boscosa:** superficie de suelo o tierra ocupada por árboles que cubren por lo menos el 33.3% (Kappelle, 2004). Se define bosque denso al que presenta una cobertura mayor al 66.7%; bosque medio con cobertura entre el 33.3% a 66.7% y bosque ralo con cobertura menor a 33.3%, con base en Kapelle (2004). Un criterio práctico para medir el nivel de cobertura es el principio utilizado para la determinación del grado de iluminación de la copa en el proceso de muestreo diagnóstico silvicultural (Hutchinson, 1993).

A. Cobertura alta

La copa de los árboles maduros recibe luz solamente en la parte superior. Baja proporción o ausencia de plántulas y brinzales de especies arbóreas. Presencia limitada de arbustos y herbáceas.

B. Cobertura media

La copa de los árboles maduros recibe luz hasta un 75% de la altura de la copa (desde la parte superior a la base). Presencia relativamente equitativa de vegetación arbustiva y fustales.

C. Cobertura baja

La copa de los árboles maduros recibe luz en más del 75% de la copa. Presencia abundante de herbáceas y arbustos.

3.4.2. Criterio: biodiversidad indicadora

Este se fundamenta en: a) el tipo de cobertura-vegetación (Mongil et al., 2012) dominante; b) la estructura del bosque según la cobertura (Kappelle, 2004); c) la biodiversidad de especies indicadoras según la afinidad sucesional de los bosques de montaña con presencia de coníferas (Godínez S. M., 2021; Godínez et al., 2017; Muñiz Castro, 2008; Ramírez et al., 1998) y d) la presencia de la regeneración natural de coníferas (Godínez et al., 2016). Para comprender mejor el fundamento del uso de la biodiversidad, se describen los siguientes conceptos:

Afinidad sucesional: se refiere a la preferencia de una especie por una de las etapas básicas de sucesión ecológica forestal, en función de los requerimientos lumínicos para su establecimiento y desarrollo (Quintana Ascencio & González Espinosa, 1993).

Afinidad sucesional pionera: comprende especies comunes, de rápido crecimiento, demandantes de luz, de porte alto y por ello dominantes del dosel, productores de gran cantidad de semillas que se dispersan por el viento (Tavera-Carreño et al., 2019), sus propágulos forman parte importante del banco de semillas del suelo (Quintana Ascencio & González Espinosa, 1993). Toleran altos niveles de degradación, con poca humedad y altas temperaturas, adaptadas a suelos pobres o degradados (Teran-Valdez et al., 2018). En esta categoría se incluyen a especies del género *Pinus* (Tavera-Carreño et al., 2019).

Afinidad sucesional intermedia: comprende especies que toleran poco la sombra, crecen bien en matorrales y bajo dosel relativamente abierto del bosque (70-80%), tienen resistencia a la sequía y heladas (Quintana Ascencio & González Espinosa, 1993). Con velocidades de crecimiento intermedio, requieren suelos con mayor cantidad de nutrientes, se asocian a niveles de degradación medio a bajo (Teran-Valdez et al., 2018).

Afinidad sucesional tardía: comprende especies caracterizadas como raras, de talla pequeña, crecimiento lento, tolerantes a la sombra (Tavera-Carreño et al., 2019), con estrategias de reproducción y dispersión complejas, en ambientes bien conservados y niveles de degradación muy bajas (Teran-Valdez et al., 2018). Generalmente producen frutos drupáceos con dispersión zoocora que incluye aves y pequeños mamíferos (Tavera-Carreño et al., 2019). Son especies exclusivas de bosques maduros cerrados y sus plántulas crecen bien en sitios más húmedos y son sensibles a la sequía y a las heladas (Godínez S. M., 2021; Quintana Ascencio & González Espinosa, 1993).

A. Especies de árboles indicadoras de etapa madura

Se refiere a la presencia de la diversidad de especies de árboles indicadoras de la etapa madura detalladas en las tablas 6 y 7 y figuras 12 y 13.

B. Flora

Se refiere a la diversidad de vegetación terrestre y epifítica asociada a la vegetación arbórea, como indicadora de un nivel de degradación (tabla 8).

3.4.3. Criterio edáfico

Este criterio se relaciona y fundamenta con el grado de conservación del suelo, que se define en función del grado o intensidad de la erosión y deposición del suelo. La erosión involucra tres etapas (1) desprendimiento y remoción, (2) transporte y (3) sedimentación del material; en la etapa de transporte se completa la pérdida de partículas del suelo (materiales coloidales integrados por materia orgánica, humus y nutrientes) y se genera el escurrimiento superficial que evidencia distintas formas de erosión (laminar, en surcos y/o en cárcavas) y daños a la infraestructura (Gaitán et al., 2017).

La erosión laminar se evidencia por la presencia de pedestales, los que se definen como relictos de suelo superficial, que permanecen por la protección de piedras, ramas o plantas. Las líneas de escurrimiento causan la remoción y arrastre de suelo y generan los surcos o canalillos con menos de 30 cm de profundidad y las cárcavas presentan profundidad mayor a 30 cm (Matias Ramos et al., 2020). El grado de erosión se clasifica en ligero, moderado, severo y extremo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009).

A. Erosión grado ligero

Presenta alguna evidencia de daño a horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran intactas.

B. Erosión grado moderado

Clara evidencia de remoción de horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran parcialmente destruidas. Puede manifestar evidencia de erosión laminar.

C. Erosión grado severo

Los horizontes superficiales completamente removidos y los horizontes sub-superficiales expuestos. Las funciones bióticas originales ampliamente destruidas. Puede manifestar evidencia de erosión en surcos.

D. Erosión grado extremo

Evidente remoción sustancial de los horizontes subsuperficiales. Las funciones bióticas originales han sido completamente destruidas. Puede manifestar evidencia de erosión en cárcavas.

3.4.4. Criterio: disturbios antropogénicos

La definición de Kaufmann et al. (1994), diferencia la perturbación natural de la antropogénica, evidenciando que la gestión de los recursos naturales puede causar perturbación⁴ y en consecuencia degradación forestal (Habrouk, 2001). Las causas principales de la degradación de los bosques en América Latina son tres (Armenteras et al., 2016), tala selectiva y extracción de leña, incendios forestales y fragmentación forestal.

A. Tala ilícita

Se refiere a la extracción de productos maderables y no maderables del bosque, sin la planificación prescrita por la institución gubernamental responsable de su gestión legal del territorio o sitio aprovechado. Esta actividad no está sujeta a las normas que garantizan la extracción y manejo sostenible del territorio del bosque y sus recursos.

B. Incendios forestales

El fuego es uno de los agentes de disturbio forestal que cumple un papel relevante en la estructura y dinámica de los ecosistemas. La rápida sucesión originada por la regeneración post-incendio se considera un proceso de autosucesión (Hanes, 1971 citado por Habrouk, 2001), que se logra a través de dos mecanismos eficaces: el rebrote de estructuras resistentes al fuego (*Pinus oocarpa*, *Pinus caribaea*) y/o la germinación de semillas protegidas y almacenadas en el suelo o en la copa.

C. Fragmentación forestal

Es la ruptura de grandes rasgos paisajísticos en parches disjuntos, aislados o semi aislados, como resultado de cambios en el uso de la tierra (Heywood & Watson 1995). El uso y manejo del territorio aumenta la heterogeneidad espacial, en muchos casos a través de la pérdida y fragmentación de hábitat. Las causas de la fragmentación son la deforestación, quemadas, ganadería, agricultura, minería, construcción de obras civiles (embalses, oleoductos y carreteras), plantaciones forestales e invasiones biológicas. El factor que influye en que sucedan y prosperen las causas de la fragmentación es la facilidad de acceso por medio de caminos y senderos.

3.5. Criterios de evaluación de degradación exclusivos para bosque ripario

3.5.1. Criterio: tipo de corriente

Se fundamenta en los tres tipos de corriente: Corriente permanente, la que presenta flujo de agua en la época de verano e invierno; corriente intermitente, la que transporta agua durante la época de invierno principalmente y corriente efímera, transporta agua únicamente durante y después de un evento de lluvia.

⁴ El aprovechamiento de un bosque natural de coníferas (pino o pino-querqus) que luego es transformado en una plantación forestal con una sola especie.

3.5.2. Criterio: características del talud de la corriente

Se definen tres categorías definidas por su estructura física de conservación y la presencia de vegetación. Talud definido y conservado: con presencia de una zona inclinada previa a la corriente y con vegetación arbórea. Talud erosionado: Presencia de zona generalmente inclinada previa a la corriente, sin vegetación arbórea, arbustiva y herbácea. Talud no definido: ausencia de zona inclinada previa a la corriente.

3.5.3. Criterio: estructura horizontal

Lo integra una primera banda integrada por vegetación arbustiva enraizada bajo el agua integrada principalmente por carrizos y cañas y una segunda banda de vegetación arbórea y arbustiva.

3.5.4. Criterio: conectividad de la vegetación

Se define por el nivel de fragmentación de la vegetación riberrina, con tres categorías. Fragmentación incipiente: franja continua de bosque a lo largo de la corriente. Fragmentación moderada: franjas con parches o bosquetes a lo largo de la corriente. Fragmentación severa: árboles dispersos a lo largo de la corriente.

3.5.5. Criterio: sedimentación

Se definen tres niveles de sedimentación en el lecho del río o corriente como medida de salud de la corriente. Sediementación leve: el material arrastrado por la corriente es casi imperceptible. Sedimentación moderada: se observa material arrastrado por la corriente, pero no supera el nivel del agua. Sedimentación severa: el material arrastrado por la corriente, supera el nivel del agua.

3.6. Formatos para determinar el estado de degradación

Se han integrado los principales criterios biológicos y el edáfico en la tabla 8, la que constituye una clave que describe 7 niveles de degradación, en orden ascendente con respecto a la pérdida de características de cobertura y suelo, es decir, se inicia con el nivel cero (0), que se refiere a que no existe degradación alguna y que el bosque y suelo mantiene sus características originales, hasta llegar al nivel de degradación 6, donde prácticamente el área de evaluación está en la primera etapa de sucesión ecológica, y se ha perdido totalmente la cobertura forestal. Esta clave se utiliza para definir la categoría de degradación del bosque de coníferas y el ripario.

De acuerdo a los criterios presentados y al análisis de los criterios para definir el estado de conservación de bosques (INAB, 2018), se proponen los criterios, indicadores y ponderaciones definidos en el formato de la tabla 9 y los criterios teóricos y gráficos de la tabla 10 y figura 14 respectivamente, para evaluar el nivel de degradación de los bosques de coníferas y zonas riparias.

Tabla 8: Conceptualización de la definición de niveles de degradación de los bosques de coníferas.

Categoría	ND	Descripción del tipo de cobertura boscosa y biodiversidad asociada y estado de conservación del suelo
Ligera	0	Bosque denso de pino o pino-encino. Especies IEST acompañantes en el estrato de copas integrada por <i>Prunus rhamnoides</i> , <i>Cornus disciflora</i> , <i>Oreopanax xalapensis</i> , <i>O. echinops</i> , <i>Ostrya virginiana</i> , <i>Garrya laurifolia</i> , <i>Litsea glaucescens</i> , <i>Cleyera theoides</i> , <i>Ternstroemia tepezapote</i> , <i>Chiranthodendron pentadactylon</i> , <i>Myrsine juergensenii</i> , <i>Styrax argenteus</i> , <i>Arbutus xalapensis</i> *, <i>Symplocos hartwegii</i> *, <i>Drimys granadensis</i> ***, <i>Persea schiedeana</i> **, en el estrato de sotobosque los arbustos <i>Senecio cobanensis</i> , <i>Begonia oaxacana</i> , <i>Buddleia nitida</i> , <i>Acacia pennatula</i> , las herbáceas <i>Chimaphilla umbellata</i> . El estrato epifítico en las copas de pinos y encinos integrado por las especies de gallitos <i>Tillandsia ponderosa</i> , <i>Tillandsia guatemalensis</i> . En la época lluviosa el piso del bosque con presencia frecuente de hongos micorrícicos de los géneros <i>Boletus</i> , <i>Laccaria</i> , <i>Amanita</i> , <i>Lactarius</i> y <i>Russula</i> y saprobios. Suelo con grado de erosión ligero.
	1	Bosque de pino o pino-encino densidad media. Especies IESS acompañantes en el estrato de copas integrado por <i>Acer negundo</i> var. <i>mexicanum</i> , <i>Carpinus caroliniana</i> var. <i>tropicalis</i> , <i>Clethra mexicana</i> , <i>Morella cerifera</i> , <i>Parathesis tartarea</i> , <i>Frangula discolor</i> , <i>Prunus serótina</i> subsp. <i>capuli</i> , <i>Casimiroa edulis</i> , <i>Buddleia skutchii</i> , <i>Trema micrantha</i> , <i>Hedyosmum mexicanum</i> , <i>Quercus crassifolia</i> *, <i>Quercus castanea</i> *, <i>Liquidambar styraciflua</i> **. El estrato de sotobosque los arbustos <i>Eupatorium semialatum</i> , <i>Senecio barba-johannis</i> , <i>Gaultheria odorata</i> , <i>Comarostaphylis arbutoides</i> , <i>Fuchsia microphylla</i> , <i>Fuchsia splendens</i> , <i>Monnina xalapensis</i> , <i>Ceanothus coeruleus</i> , <i>Holodiscus argenteus</i> y las herbáceas <i>Salvia cinnabarina</i> , <i>Salvia lavanduloides</i> , <i>Lobelia laxiflora</i> , <i>Smilacina flexuosa</i> , <i>Phytolacca icosandra</i> , <i>Orthrosanthus chimboracensis</i> var. <i>centroamericanus</i> . En el estrato epifítico <i>Peperomia quadrifolia</i> , <i>Isochillus auriantiacus</i> , <i>Tillandsia</i> sp., y la presencia de las lianas <i>Passiflora membranacea</i> y <i>Smilax jalapensis</i> . Suelo con grado de erosión ligero a moderado, puede presentar evidencia de erosión laminar
Moderada	2	Bosque de pino o pino-encino densidad baja, en los espacios abiertos y bordes densidades de regeneración natural superiores a 5,000 plántulas/ha. Especies IESP de árboles acompañantes en el estrato de copas <i>Alnus acuminata</i> subsp. <i>arguta</i> , <i>Alnus jorullensis</i> , <i>Morella cerifera</i> , <i>Quercus peduncularis</i> , <i>Quercus seemannii</i> , <i>Quercus ocoteifolia</i> *, <i>Platanus chiapensis</i> **. El estrato de sotobosque los arbustos <i>Baccharis vaccinioides</i> , <i>Stevia polycephala</i> , <i>Acaena elongata</i> y las herbáceas <i>Senecio doratophyllus</i> , <i>Cirsium subcoriaceum</i> , <i>Lupinus montanus</i> . Suelo con grado de erosión moderado, puede presentar evidencia de erosión laminar o canales.
	3	Bosque de pino o pino-encino degradado, con árboles maduros dispersos y regeneración natural de pinos y especies pioneras acompañantes entre 1,000 a 5,000 individuos/ha de las categorías de plántula, brinzal y latizal. Especies IBD acompañantes de árboles <i>Alnus acuminata</i> subsp. <i>arguta</i> , <i>Alnus jorullensis</i> , <i>Morella cerifera</i> , de arbustos <i>Baccharis vaccinioides</i> , <i>Stevia polycephala</i> , <i>Acaena elongata</i> , <i>Symphoricarpos microphyllus</i> . Suelo con grado de erosión moderado a severo. Con presencia de canales o cárcavas.
Severa	4	Área con 6 a 20 árboles remanentes/ha de pino dispersos posiblemente acompañados por <i>Alnus acuminata</i> subsp. <i>arguta</i> , <i>Alnus jorullensis</i> , <i>Morella cerifera</i> , <i>Quercus</i> sp. Densidades de regeneración natural entre 500 a 1,000 individuos/ha de las categorías de plántula, brinzal y latizal. Existen áreas con suelo descubierto u ocupado con vegetación herbácea y arbustiva con dominancia de <i>Baccharis vaccinioides</i> , <i>Rubus</i> sp. Suelo con grado de erosión severo, presencia de cárcavas.
	5	Áreas con un máximo de 5 árboles/ha de coníferas y encinos; regeneración natural inferior a 500 individuos/ha en las categorías de plántula, brinzal y latizal de las especies remanentes. El suelo en más del 50% de superficie descubierto, con evidencias de erosión severa, pérdida del horizonte A y presencias de cárcavas.
Extrema	6	Áreas de suelo desprovistas de vegetación arbórea o con vegetación arbustiva y herbácea dispersa. Evidencia de erosión extrema y pérdida de horizontes superficiales del suelo, con presencia de cárcavas.
<p>Referencias: ND: nivel de degradación, IEST: indicadora de etapa sucesional tardía, IESS: indicadora de etapa sucesional secundaria, IESP: indicadora de etapa sucesional pionera, IBD: indicadora de bosque degradado, *especies con distribución natural limitada a la zona volcánica, **especie con distribución natural limitada a las tierras altas sedimentarias.</p>		

Tabla 9: Formato para evaluación de niveles de degradación en bosques de coníferas.



FORMATO PARA EVALUACIÓN DE NIVELES DE DEGRADACIÓN EN BOSQUES DE CONÍFERAS Y BOSQUE RIPARIO.

Fecha de evaluación:		Evaluador:			
No. de expediente:		Área del proyecto:	Nombre del titular:		
CRITERIO	PARÁMETRO	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN		
Bosque coníferas	1. Estratos presentes	A+Fm+Fj+L+B	0		
		B+L+Fj+Fm	1		
		B+L+Fj	2		
		P+B+L	3		
		P+B	4		
		P	5		
	2. Disturbios naturales (presencia 2/ausencia 1)	Presencia de claros dentro del bosque	1 o 2		
Evidencia vientos fuertes		1 o 2			
Evidencia de deslaves		1 o 2			
Evidencia de plagas o enfermedades		1 o 2			
Bosque conífera y ripario	3. Cobertura de copas	Alta	1		
		Media	2		
		Baja	3		
	Especies de árboles indicadoras de la etapa madura	13 o más especies	1		
		8-12 especies	2		
		4-7 especies	3		
		1-3 especies	4		
		0 especies	5		
	4. Flora y hongos asociados (presencia 1/ausencia 2)	Hongos	1 o 2		
		Epífitas	1 o 2		
		Musgos	1 o 2		
		Bromelias	1 o 2		
		Helechos	1 o 2		
	Fauna Indicadora de bosque maduro	Evidencia de presencia de fauna	1		
		Referencia de fauna	2		
		No hay evidencia ni referencia de fauna	3		
	5. Erosión del suelo	Ligera	2		
Moderada		3			
Severa		4			
Extrema		5			
6. Disturbios antropogénicos (presencia 2/ausencia 1)	Evidencia de tala ilícita (madera, leña, etc.)	1 o 2			
	Evidencia de incendios forestales	1 o 2			
	Evidencia de caminos rurales	1 o 2			
	Evidencia de Ocoteo/Resinación	1 o 2			
Bosque ripario	9. Tipo de corriente	Corriente permanente	1		
		Corriente intermitente	2		
		Corriente efímera	3		
	10. Talud	Talud definido y conservado	1		
		Talud erosionado	2		
		Talud no definido	3		
	11. Estructura horizontal (presencia 1/ausencia 2)	Primera banda presente	1 o 2		
		Segunda banda presente	1 o 2		
	12. Conectividad de la vegetación	Fragmentación incipiente	1		
		Fragmentación moderada	2		
		Fragmentación severa	3		
	13. Sedimentación	Sedimentación leve	1		
		Sedimentación moderada	2		
Sedimentación severa		3			
Total					

Marque el nivel de degradación de acuerdo a la ponderación.

Categoría	Ligera	Moderada	Severa	Extrema
Coníferas	24	25-36	37-42	≥43
Ripario	21	22-38	39-45	≥46

Tabla 10: Descriptor de los parámetros de evaluación de niveles de degradación en bosques de coníferas



FORMATO PARA EVALUACIÓN DE NIVELES DE DEGRADACIÓN EN BOSQUES DE CONÍFERAS Y BOSQUE RIPARIO.

Referencia para el llenado de la boleta.

CRITERIO	PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN / INDICADORES	PONDERACIÓN	
Bosque conífero	1. Estratos presentes	A+Fm+Fj+L+B (Árboles, fustal maduro, latizales, fustal joven, latizal y brinzal)	Presencia de todos los estratos y principalmente de árboles maduros con DAP mayor a 25 cm. (bosque saludable)	0
		B+L+Fj+Fm (brinzales, latizales, fustal joven y Fustal Maduro)	Presencia de varios estratos y fustales con DAP entre 15 y 25 cm. Menor presencia de hierbas	1
		B+L+Fj (brinzales, latizales y fustal joven)	Presencia de fustal joven (Individuos con DAP entre 10 y 15 cm.) Además de latizales y brinzales.	2
		P+B+L (plántulas, brinzales y latizales)	Presencia plántulas o hierbas, brinzales y latizales (de Individuos con DAP entre 5 y 10 cm.)	3
		P+B (plántulas y brinzales)	Presencia mayormente de plántulas y brinzales (hasta individuos con altura mayor a 30 cm y DAP máximo de 5 cm.)	4
		P (plántula)	Presencia exclusiva de plántulas o hierbas (Individuos con altura máxima de 30 cm.)	5
	2. Disturbios naturales (presencia 1/ausencia 2)	Presencia de claros dentro del bosque	Se observan directamente en el área o existen evidencias	2
		Evidencia vientos fuertes		
Evidencia de plagas o enfermedades		No se observan evidencias y/o no se tiene información o registros	1	
Bosque conífero y ripario	3. Cobertura de copas	Densa	La copa de los árboles maduros recibe luz solamente en la parte de superior. Presencia limitada de herbáceas Baja proporción latizales y brinzales	1
		Media	La copa de los árboles maduros recibe luz hasta un 75% de la altura de la copa. Presencia relativamente equitativa de vegetación arbustiva y fustales.	2
		Baja o rala	La copa de los árboles maduros recibe luz en más del 75% de la copa. Presencia abundante de herbáceas y arbustos.	3
	4. Especies de flora indicadoras de la etapa madura	13 o más especies		1
		8-12 especies	Usar las imágenes de las especies indicadoras de la etapa madura como referencia; contar el número de especies presentes en el área.	2
		4-7 especies		3
		1-3 especies		4
		0 especies		Hay árboles, pero son de otras etapas de desarrollo (intermedia o pionera)
	5. Flora asociada (presencia 1/ausencia 2)	Hongos	Se observa presencia	1
		Epífitas		
		Musgos		
		Bromelias	No se observa presencia	2
		helechos		
	6. Fauna Indicadora de bosque maduro	Evidencia de presencia de fauna	Se encuentran huellas o marcas (plumas, excretas, pelos, etc.) de fauna. Avistamientos.	1
		Referencia de fauna	Especies referidas por personal de campo o propietarios del área.	2
		No hay evidencia ni referencia	No existen marcas y los pobladores no han visto presencia fauna en el lugar.	3
	7. Erosión del suelo	Ligera	Alguna evidencia de daño a horizontes superficiales del suelo.	2
		Moderada	Clara evidencia de remoción de horizontes superficiales del suelo.	3
		Severa	Los horizontes superficiales completamente removidos y los horizontes sub-superficiales expuestos y/o presencia de surcos	4
		Extrema	Evidente remoción sustancial de los horizontes subsuperficiales y/o presencia de cárcavas,	5
8. Disturbios antropogénicos (presencia 2/ausencia 1)	Evidencia de tala ilícita (madera, leña, etc.)	Se observan directamente en el área o existen evidencias	2	
	Evidencia de incendios forestales			
	Evidencia de caminos rurales	No se observan evidencias y/o no se tiene información o registros	1	
Bosque ripario	9. Tipo de corriente	Corriente permanente	Flujo de agua en verano e invierno	1
		Corriente intermitente	Flujo de agua principalmente durante el invierno	2
		Corriente efímera	Flujo de agua solamente cuando llueve	3
	10. Talud	Talud definido y conservado	Presencia de zona generalmente inclinada previa a la corriente, con vegetación	1
		Talud erosionado	Presencia de zona generalmente inclinada previa a la corriente, sin vegetación	2
		Talud no definido	Ausencia de zona inclinada previa a la corriente.	3
	11. Estructura horizontal	Primera banda presente	Está integrada por vegetación que enraíza bajo el agua (carrizos y cañas)	1
		Segunda banda presente	Comprende la vegetación riparia arbustiva y arbórea	1
	12. Conectividad de la vegetación	Fragmentación incipiente	Franja continua de bosque a lo largo de la corriente	1
		Fragmentación moderada	Franjas con parches o bosquetes a lo largo de la corriente	2
		Fragmentación severa	Árboles dispersos a lo largo de la corriente.	3
	13. Sedimentación	Sedimentación leve	El material arrastrado por la corriente es casi imperceptible.	1
Sedimentación moderada		Se observa material arrastrado por la corriente, pero no supera el nivel del agua.	2	
Sedimentación severa		El material arrastrado por la corriente, supera el nivel del agua.	3	



FORMATO PARA EVALUACIÓN DE NIVELES DE DEGRADACIÓN EN BOSQUES DE CONÍFERAS Y BOSQUE RIPARIO.

INFOGRAFÍA COMPLEMENTARIA DE REFERENCIA

Talud



1

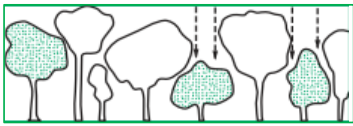


2

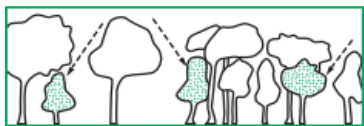


3

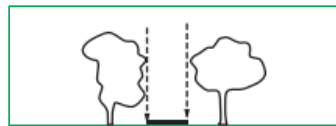
Cobertura de copas



1



2



3

Erosión del suelo

1



2



3



4



Figura 14: Infografía para la evaluación de niveles de degradación de los bosques de conífera y ripario.

3.7. Tipos de proyectos en la modalidad de restauración de tierras forestales degradadas en el marco de la ley PROBOSQUE, para el ecosistema Bosques de Coníferas

La Ley PROBOSQUE (Decreto Número 2-2015, 2015) se considera el principal mecanismo financiero para implementar la Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. Esta ley incluye la modalidad denominada “Restauración de Tierras Forestales Degradadas” con el objetivo de fomentar e implementar acciones que contribuyan a la recuperación y/o mantenimiento de la estructura y funcionalidad de los ecosistemas del país, para la generación de bienes y servicios ecosistémicos. La modalidad contempla cinco tipos de proyectos, cuatro de ellos aplicables a los todos los tipos de bosque y uno especialmente para bosque Manglar. La figura 40 ilustra y describe los cuatro tipos de proyecto aplicable para el ecosistema de Bosques de Coníferas.



Regeneración Natural

Se define como la aparición paulatina de especies forestales mediante un proceso de sucesión ecológica, que ocurre por la alteración de la masa forestal inicial a causa de factores naturales y/o antrópicos. Comprenderá la existencia de las clases desarrollo: plántula, brinzal y latizal. Altura máxima de 3 m.



Bosque Secundario

Se define como la vegetación leñosa de carácter sucesional siguiente a la etapa de regeneración, que se desarrolla sobre tierras forestales dañadas por disturbios naturales o antrópicos, que afectó a más del 90% de cobertura original. Comprende los estadios tempranos de desarrollo del bosque, los árboles pertenecen a las clases de desarrollo superiores a 10 cm de DAP (fustal joven $10 \leq \text{DAP} < 15$ cm y avanzado $15 \leq \text{DAP} < 20$ cm) y alturas superiores a 3 m. Su estructura horizontal atiende al modelo de bosque normal coetáneo.



Bosque degradado

Se define como la vegetación leñosa de cualquier clase de desarrollo que manifiesta alteración en su estructura, composición florística y productividad, por disturbios naturales o antrópicos que dificultan su capacidad de recuperación. Afectando la capacidad de generación de servicios ecosistémicos ofrecidos por el bosque original. Se caracteriza por seguir siendo un área boscosa, pero con una estructura vertical y horizontal irregular, que tiende a ser disetáneo.

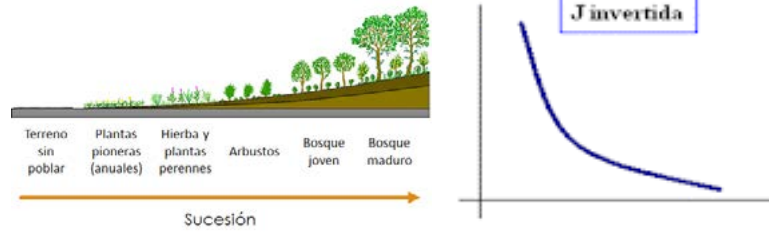


Bosque ripario

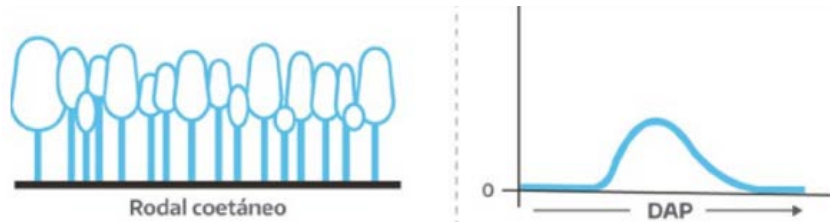
Los bosques riparios se definen como la vegetación arbórea y arbustiva ubicada en los márgenes de los ríos, arroyos y otras corrientes o masas de agua, sean permanentes o temporales en un ancho de banda de hasta m según para corrientes permanentes.

Figura 15: Tipos de proyecto en la modalidad de Restauración de Tierras Forestales Degradadas, aplicables a los bosques del ecosistema de Bosque de Coníferas.

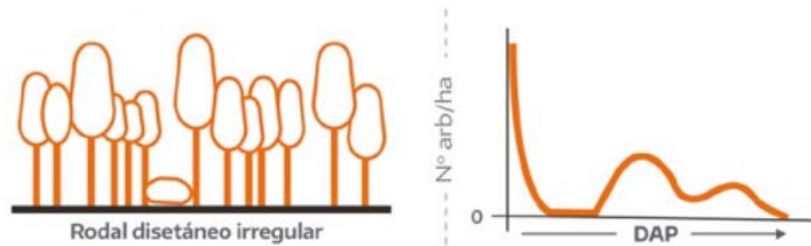
Regeneración Natural



Bosque Secundario



Bosque degradado



Bosque ripario

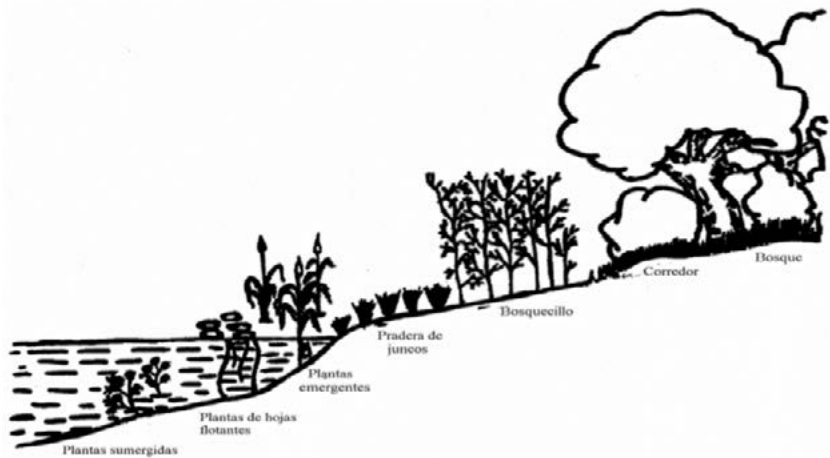


Figura 16: Representación gráfica de la estructura vertical y horizontal de la vegetación de las diferentes manifestaciones de los bosques de coníferas y zona riparia del ecosistema bosque de coníferas.

La representación gráfica de la estructura vertical y horizontal del tipo de bosque que caracteriza a cada tipo de proyecto, se fundamenta en la definición teórica ajustada (Figura 15), de cada tipo de vegetación forestal ilustrada en la figura 16. Estos modelos gráficos tienen el propósito de facilitar la asignación del tipo de proyecto a las áreas degradadas donde se deseen implementar proyectos de restauración forestal en el marco de la Ley PPROBOSQUE (Decreto Número 2-2015, 2015).

3.8. Criterios y parámetros de evaluación para la aprobación y certificación de proyectos

3.8.1. Bosques de coníferas

A. Estratificación del área

En la evaluación para fines de aprobación, es necesario identificar si el área presenta características homogéneas en cuanto a composición y estructura, en caso contrario, se deberá estratificar para enfocar la restauración de acuerdo a las condiciones de cada sitio.

B. Área integral del proyecto

Se considera como área integral del proyecto, todo el espacio planteado dentro de la propuesta, siempre y cuando tenga concordancia y coherencia con el tipo de proyecto y las técnicas de restauración a implementar. Se incluyen todas las estructuras de protección contra incendios, cuerpos de agua, caminos, áreas con restricciones fisiográficas severas y bosquetes naturales que se encuentren ubicados dentro del perímetro del proyecto, teniendo en cuenta que la sumatoria de estas áreas no debe exceder del ocho por ciento (8%) del área total del proyecto.

C. Inventario Forestal

Se utilizarán parcelas de muestreo para caracterizar la vegetación leñosa sucesional o regeneración natural. El tamaño de las parcelas se especifica en la tabla 11; el número de parcelas puede definirse de acuerdo a la diversidad fisiográfica o topográfica. No se limita el uso de otras metodologías que permitan la recopilación de la información requerida. El error de muestreo deberá ser menor o igual al 20%, a un nivel de confianza del 95%.

Tabla 11: Tamaño de parcelas para evaluar la vegetación en bosques de coníferas.

Clase de desarrollo	Tamaño de parcela (m ²)
Plántula (P): Individuos con altura máxima de 30 cm.	1
Brinzal (B): Individuos con altura mayor a 30 cm y dap máximo de 5 cm.	4
Latizal (L): Individuos con dap entre 5 y 10 cm.	25
Fustal joven (Fj): Individuos con dap entre 10 y 15 cm.	
Fustal maduro (Fm): Individuos con dap entre 15 y 25 cm.	100
Árbol (A): Individuos con dap mayor a 25 cm.	

Fuente: Elaboración propia con adaptación de Instituto Nacional de Bosques, 2015.

D. Degradación del suelo

Par los niveles de degradación severo y extremo, el plan de manejo deberá considerar la implementación de obras de conservación del suelo como acción previa a los procesos de sucesión vegetal, hasta un periodo máximo de 4 años, para el bosque de coníferas y el ripario. Adicionalmente si se considera pertinente implementar las técnicas de restauración de enmiendas y Micorrización, especialmente para el bosque de coníferas.

E. Técnica de restauración

Se debe evaluar si la o las técnicas de restauración consideradas, cumplen tanto con el objetivo de la restauración como con la funcionalidad para recuperar las tierras forestales degradadas. Para la armonizar la coherencia entre el tipo de proyecto y la o las técnicas propuestas, se puede tomar como referencia la tabla 12.

F. Especies

Las especies deben coincidir con los objetivos de la restauración y el nivel de degradación del área, en general. Se promueven la priorización y uso de especies nativas y de alto valor de importancia (comercial, cultural, social, ambiental, ecológica, entre otros) incorporando el número de especies establecidas por ecosistema, según el tipo de proyecto.

En los proyectos cuyo objetivo sea la restauración productiva, el enriquecimiento y/o completación estará limitado a incorporar un máximo del 50% de especies de alto valor comercial.

G. Actividades culturales

Cuando sea necesario o pertinente considerar la aplicación de las siguientes actividades:

- Cercado de áreas a restaurar
- Eliminación de especies no deseadas
- Actividades de limpia
- Actividades de plateo

H. Actividades silviculturales

Cuando las condiciones críticas se presenten y/o los árboles lo requieran según la calidad de sitio, se deberán realizar aclareos y podas, esto, dentro del período de duración del incentivo. Estas actividades deben considerarse en la formulación del Plan de Manejo, y deberán de ser de bajo impacto con el fin de favorecer el desarrollo del proyecto establecido.

I. Medidas de protección contra incendios

Verificar el cumplimiento de las actividades para la prevención de incendios como rondas cortafuego, si el ancho es menor a 3 m, debe justificarse en el plan de manejo.

J. Medidas de control y vigilancia de plagas y enfermedades

Verificar el cumplimiento de las actividades propuestas en el plan de manejo para el control de plagas o enfermedades y la forma en que serán implementadas.

K. Aprovechamiento forestal

Los proyectos bajo esta modalidad, que hayan cumplido los objetivos de la restauración, podrán ser sujetos de un posterior aprovechamiento forestal, debiendo registrarse bajo la normativa de licencias de aprovechamiento con fines de producción del INAB, permitiéndose únicamente el tratamiento silvicultural de corta selectiva.

Las áreas sujetas a un compromiso de repoblación forestal, derivadas de un aprovechamiento bajo esta modalidad, deberán utilizar las mismas especies aprovechadas en el tratamiento de corta selectiva y/o corta de selección; con el propósito de mantener la estructura y funcionalidad del área restaurada bajo incentivo forestal.

3.8.2. Bosque ripario**A. Ancho de la zona o franja del proyecto**

El ancho mínimo permitido será de 10 metros y el máximo de 250 metros, considerados a partir de dos metros de la zona de estabilización del talud del borde del cauce (delimitado por la época lluviosa) y se distribuirá paralelamente al río a proteger.

Para el caso de ríos, cuyo cauce natural esté complementado con estructuras que evitan desbordamientos e inundaciones (tales como bordas), los proyectos se establecerán a partir del límite externo de dichas estructuras.

B. Estabilización de talud

Dentro del plan de manejo se debe especificar las acciones para estabilizar o recuperar el talud de la corriente, incluyendo la técnica para recuperar la cobertura en caso requiera especies particulares para ese fin.

C. Conectividad de la vegetación

En este tipo de proyecto, el objetivo principal es recuperar la conectividad de la vegetación a lo largo de la corriente y transversal a esta. Las diversas técnicas no solo pueden combinarse sino también deben ajustarse al nivel de fragmentación y alteración de la estructura horizontal y vertical que esté presente.

D. Actividades silviculturales y/o manejo forestal

Las actividades de aprovechamiento podrán realizarse únicamente a partir de los 25 metros de la zona de estabilización del talud del cauce del río. Podrán incorporar arreglos del paisaje con fines productivos, energéticos, producción de germoplasma, forestería y manejo forestal sostenible.

Los aprovechamientos forestales serán de bajo impacto y solamente se permitirán las cortas selectivas y los productos-subproductos podrán tener fines comerciales.

4.

SECCION IV. Guía técnica de prácticas de Restauración de Tierras Forestales Degradadas

4.1. Técnicas de restauración los niveles de degradación.

Para efectos de la aplicación de la Ley PROBOSQUE, se determina el nivel de degradación con base en los criterios definidos en el formato de la tabla 9 y 10, que constituye un instrumento diseñado para determinar la categoría de degradación forestal, según los rangos de valoración derivados de las magnitudes de ponderación asignadas.

Luego con la información complementaria incluida en el plan de manejo, realizando una valoración según las definiciones de la figura 19 y análisis estructural utilizando los modelos de la figura 20, se identifica el tipo de proyecto idóneo para el área sujeta a evaluación, en la modalidad de restauración de tierras forestales degradadas.

La técnica o técnicas posibles y factibles de aplicar en cada modalidad de proyecto según la diversidad de niveles de degradación existentes en las áreas evaluadas se detallan en la tabla 14.

Tabla 12: Técnicas de restauración sugerida, según el nivel de degradación del área.

Tipo de proyecto		Nivel de degradación		
		Moderada	Severa	Extrema
Restauración de tierras forestales degradadas	Bosques riparios ¹	Manejo de rebrotes	Completación / enriquecimiento	Reforestación ² o Plantación
	Bosques secundarios	Completación / enriquecimiento		
	Bosques degradados		Reforestación / Completación enriquecimiento	Reforestación ² o Plantación/ completación ² / enriquecimiento ²
	Regeneración natural	Manejo de regeneración o rebrotes Completación	Manejo de regeneración o rebrotes. Completación	
Técnicas para restaurar el suelo y la vegetación herbácea, arbustiva y arbórea.				Restauración de suelos Plantación o establecimiento de especies pioneras

Referencias: Las celdas negras indican que el nivel de degradación no se acepta para el tipo de proyecto vinculado.

¹Para bosques riparios las técnicas estarán más relacionadas con la conectividad transversal y longitudinal de la vegetación, de tal manera que se puede definir la técnica para que los espacios desprovistos de vegetación recuperen la cobertura, tomando la capacidad del suelo para dar soporte a la vegetación. ²En este nivel de degradación se aplicarán las técnicas de restauración y conservación del suelo (TRCS) y vegetación herbácea y arbustiva en los primeros cinco años y luego las técnicas de restauración forestal entre el año 6 a 10, tal como se detalla en la propuesta de parámetros de sobrevivencia (Tabla 12).

Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que las técnicas no son exclusivas de un tipo de restauración y todas aplican para los objetivos definidos en la estrategia nacional de restauración del paisaje forestal de Guatemala (Mesa Nacional de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2018; Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015). Las técnicas se eligen de acuerdo al objetivo de la restauración, a la diversidad de manifestaciones de degradación existentes en el sitio. Pueden combinarse e incluir las técnicas de restauración y conservación del suelo (TRCS) y restauración de la vegetación, si se especifica en el plan de manejo.

Para los niveles de degradación severa y extrema, para proyectos regeneración natural o bosque degradado, también pueden combinarse las diferentes técnicas para contribuir a la restauración de suelo, en algunos casos no con fines de calificar para incentivos forestales.

La propuesta de la aplicación de las técnicas de reforestación/plantación, completación o enriquecimiento en niveles de degradación extrema en proyectos de bosque ripario y bosque degradado (Tabla 12); se basa en la evidencia científica y de conocimiento local, que los pinos son buenos competidores, tienen facilidad de dispersión por el viento, con aptitudes de ser buenos colonizadores al producir grandes cosechas de semillas en intervalos cortos de tiempo (Godínez et al., 2016; Mora Parada et al., 2020; Rodas, 2022).

Las técnicas de restauración ecológica de nucleación en grupos Anderson, formación de sitios para establecimiento de regeneración y transposición de suelos son aplicables para las modalidades denominadas de enriquecimiento y completación en el Manual de Criterios y Parámetros PROBOSQUE.

La técnica de perchas y madrigueras es funcional para restauración del bosque ripario y de especies latifoliadas en el bosque de conífera para los diferentes tipos de proyecto y niveles de degradación forestal. También es pertinente desarrollar la tecnología de la Micorrización y aplicar esta técnica de restauración de coníferas en los diferentes niveles de degradación forestal y tipos de proyecto. Esta última técnica debe ser complementaria obligatoria a las otras técnicas que se apliquen a los bosques de coníferas.

4.2. Restauración forestal: definición y objetivos

La restauración ecológica se define como el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema nativo que se ha degradado, dañado o destruido (Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas, 2004).

En un sentido amplio, la restauración del bosque es una actividad que busca equilibrar la reposición de los servicios ecosistémicos en los hábitats silvestres con la biodiversidad, la regulación de los recursos hídricos, el almacenamiento de carbono y otros factores y mantener las funciones productivas en beneficio de la agricultura y demás usos afines de la tierra (McGuire, 2014 citado en FAO, 2015).

La restauración forestal aplicada al concepto de restauración del paisaje forestal se define como “el proceso a largo plazo de restituir la funcionalidad ecológica y mejorar el bienestar humano en los paisajes forestales degradados” (UICN y WRI, 2014).

En el Decreto 101-96 Ley Forestal se define restauración como *el proceso de retornar una población o ecosistema degradado a una condición similar a la original*. Sin embargo, en el marco de la implementación del Decreto 02-2015, Ley PROBOSQUE, se utiliza la definición de restauración como el *“Proceso orientado a recuperar, mantener y optimizar la diversidad biológica y el flujo de bienes y servicios ecosistémicos para el desarrollo, ajustado al sistema de valores y creencias locales implementadas con un enfoque intersectorial”*, enunciada en la Estrategia Nacional de Restauración del Paisaje Forestal (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015). Esta última es la más pertinente para cumplir con las necesidades ecológicas, sociales y culturales vinculadas al bienestar humano (Organización de las Naciones Unidas, 2016).

El objetivo de la Restauración del Paisaje Forestal, no es recrear el pasado sino mantener abiertas las oportunidades futuras, tanto para el bienestar humano como para la funcionalidad del ecosistema (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015).

Guatemala tiene dos objetivos definidos para la restauración del paisaje forestal: protección y producción. Estos se enfocan en la proporción de servicios ecosistémicos, dotación de alternativas para ingresos económicos y seguridad alimentaria. De acuerdo a lo expuesto los enfoques son: ecológico y antrópico o socioeconómico (INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES, 2017).

Además, uno de los principios de la restauración es el Enfoque de Paisaje, que sugiere visualizar las acciones a nivel del territorio. Un territorio específico que puede delimitarse administrativamente como un municipio o departamento o biofísicamente como una cuenca o ecosistema estratégico, no un territorio individual (UICN y WRI, 2014).

4.3. Estrategias de restauración forestal

La restauración ecológica es una estrategia para recuperar la biodiversidad, la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas degradados (González Hernández et al., 2021).

El conjunto de acciones de restauración ecológica para la conservación, uso y manejo sostenible, se clasifican en medidas habilitadoras y de implementación (González Hernández et al., 2021).

Las medidas habilitadoras son las que generan las condiciones necesarias para el desarrollo o correcta aplicación de las medidas de implementación y su éxito a largo plazo. Contribuyendo a la reducción de la vulnerabilidad de manera indirecta (González Hernández et al., 2021). Estas medidas se relacionan con las acciones de articulación social vinculada a la restauración ecológica; promoviendo que la población comprenda el tema de la restauración (Vargas, 2007) y con su participación otorgan un valor sociocultural a la recuperación de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos.

Las medidas de implementación se relacionan con acciones tangibles en campo, que contribuyen directamente a minimizar la vulnerabilidad y a restaurar el ecosistema (González Hernández et al., 2021). En este ámbito la restauración de acuerdo a la necesidad y grado de intervención humana, puede ser pasiva y activa.

Para recomendar una estrategia de restauración es necesario, primero identificar y definir el nivel o grado de degradación y fuentes de perturbación, segundo el objetivo de la restauración y finalmente la estrategia.

4.3.1. Restauración pasiva (Técnicas auxiliares)

Esta opción se caracteriza por la mínima o nula intervención humana y se fundamenta en el proceso de sucesión ecológica secundaria (USFS, 2006). Cuando la decisión es eliminar las presiones y las causas que impiden la regeneración natural de los ecosistemas degradados y estos si tienen la capacidad de auto-recuperarse y por ende son factibles la activación de los procesos de sucesión natural, se denomina restauración ecológica pasiva (USAID, 2013).

Esta estrategia es factible de aplicar al contar con las condiciones físicas y biológicas necesarias para la recuperación paulatina del ecosistema, la intervención humana será la mínima necesaria, y se orienta básicamente a eliminar y controlar las presiones antrópicas (ej. presencia de ganado en el área, tala selectiva del bosque, instalación de cercas, delimitación y control del área, etc.) (USAID, 2013).

4.3.2. Técnicas de Restauración pasiva

A. Aislamiento o exclusión

Se recomienda en aquellos casos en donde la perturbación no ha afectado las funciones ecológicas locales que facilitan el proceso de sucesión natural (dispersión de semillas, suelos en buena condición); donde la eliminación del disturbio puede ser suficiente para que la vegetación se recupere (Jacob, 2015). El ejemplo más común es el aislamiento del área con cercas físicas que impidan el ingreso de ganado, o la implementación de *brechas contra incendios*, que suelen ser prácticas efectivas para recuperar la composición de especies del bosque (USAID, 2013).

B. Cercas sociales o regeneración natural asistida

Esta técnica también denominada regeneración natural asistida (Shono et al., 2021), se basa en la organización comunitaria que impulsa acciones de conservación y restauración (Harrison & De Ridder, 2021). Se han documentado casos que evidencian que no se requieren colocar un cerco físico para recuperar áreas degradadas, cuando la población local se adhiere a la aplicación de la estrategia de “cercas sociales”; basado en *acuerdos comunitarios* derivados una fuerte cohesión social y visión compartida que *restringe rigurosamente el acceso a las áreas perturbadas o degradadas* en procesos de recuperación (Shono et al., 2021).

Esta técnica es viable en contextos de alta pobreza como el altiplano occidental de Guatemala caracterizado por un alto potencial de restauración derivada de la regeneración natural resultado del abandono de la agricultura (Shono et al, 2021) y perturbación de natural o antrópica (Godínez et al., 2016). Se ha demostrado que especies forestales de coníferas (Godínez et al., 2016) y latifoliadas nativas del bosque nuboso de la región del altiplano occidental tienen la capacidad de establecerse desde las primeras etapas de sucesión ecológica (Godínez et al., 2021).



*Figura 17: Proceso de restauración pasiva de un área de potrero.
Fuente: Rey, 2014.*

4.3.3. Restauración activa

Esta estrategia se considera como una actividad intencional, que interrumpe los procesos responsables de la degradación y como consecuencia acelera los procesos de sucesión ecológica (INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES, 2017; Murcia y Guariguata, 2014.)

Cuando los ecosistemas naturales están muy degradados, enfrentan barreras que impiden su autorecuperación, evidenciado por su muy lenta regeneración, es necesario adoptar decisiones importantes (estrategias y acciones) que procuren la restauración del ecosistema, del bosque secundario o la recuperación de los sistemas de producción (González Hernández et al., 2021; USAID, 2013).

La decisión de intervenir directamente en el área degradada, se denomina restauración ecológica activa o asistida. En este caso, es necesario “ayudar” al ecosistema para que se puedan activar los procesos de restauración en sus diferentes fases, así como eliminar las barreras que impiden la regeneración (USAID, 2013).

4.3.4. Técnicas básicas de restauración activa

A. Reforestación/plantación

Según la Ley Forestal se define como el conjunto de acciones que conducen a poblar con árboles un área determinada (Decreto Número 101-96, 1996).

Este proceso se inicia con la selección de la especie, se recomiendan las nativas y también las de valor comercial para cumplir con los objetivos de restauración y de producción, en este paso se deberá tener la certeza de la procedencia de la semilla. Posteriormente se deben planificar las selección y preparación del sitio, así como el trazado y ahoyado, para realizar finalmente el proceso de plantación (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2010).

Una de las características de esta técnica es el ordenamiento y planificación, desde la selección de la semilla hasta la ubicación y distribución de las plantas de acuerdo a la pendiente y finalmente el mantenimiento en los primeros 5 años hasta que la plantación esté establecida.

Se debe tomar en cuenta que estos aspectos dependen directamente del objetivo de la restauración y que en tierras forestales degradadas, conllevará primero o simultáneamente realizar prácticas de conservación o restauración de suelos.

B. Manejo de regeneración natural y manejo de Rebrotos.

La Ley Forestal y La Ley Probosque (Decreto 02-2015), definen regeneración natural como “la reproducción del bosque mediante los procesos naturales, los cuales pueden favorecerse mediante técnicas silviculturales” (Decreto Número 101-96, 1996).



Figura 18: Regeneración natural de bosques de coníferas en Sierra María Tecún. Fotografía 2017: S.I. Godínez

Los bosques naturalmente se regeneran mediante la dispersión y germinación de semillas producidas por árboles maduros, denominada regeneración generativa, como las especies de coníferas. También se regeneran por medio de rebrotes, a lo que se denomina regeneración vegetativa, atributo de algunas especies caducifolias como las del género *Quercus* (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2010), *Alnus arguta* y *Arbutus xalapensis* (Díaz-Hernández et al., 2014).

Para la implementación de la técnica de manejo de regeneración natural en bosques de coníferas se debe contemplar la presencia de árboles padre o semilleros dentro o en bordes de los claros, (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2010). Para lograr una densidad de repoblación aceptable se recomienda una distancia máxima de 60 a 80 m de la fuente semillera (Godínez et al., 2016) y considerar que el área sin cobertura o claro tenga entre 80m² y 4500m², para que puedan tener suficiente luz, tomando en cuenta que las coníferas y la mayoría de especies pioneras en un proceso de sucesión ecológica, son heliófitas.

C. Completación y enriquecimiento

La Completación es el proceso de inducción de plantas producidas en vivero para su plantación en aquellos sitios donde la regeneración natural no logró establecerse. (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2010). Se comprende como enriquecimiento, el tratamiento silvicultural que consiste en sembrar árboles de alto valor comercial en claros o áreas disturbadas (Instituto Nacional de Bosques, 2015).



Figura 19: Enriquecimiento de bosque nativo con cedros.

Fuente: Ezequiel, s.f.

En general, el enriquecimiento es necesario cuando hay menos de 3,100 plántulas de regeneración/ha (Elliott et al. 2014 citado por Jacob, 2015).

4.3.5. Técnicas complementarias de restauración ecológica

A. Nucleación en Grupos Anderson

Es una técnica de nucleación que propicia un ambiente adecuado para potenciar la formación de nuevas poblaciones, a través del establecimiento de grupos (núcleos) de diferentes especies de árboles y arbustos (González Hernández et al., 2021). Su implementación se basa en plantar grupos de 3 a 25 árboles en forma ortogonal, con distancia de 50 a 75 cm entre plántulas y una separación aproximada entre grupos de 10 m (González Hernández et al., 2021).

Se establecen especies de rápido crecimiento en la parte externa del grupo para crear un microambiente que ayude a la especie de crecimiento lento que se ubica en el centro (González Hernández et al., 2021). Por estas características también se asocia a la técnica creación de núcleos de regeneración o doseles dentro de una matriz de pastos, plantando especies de árboles y arbustos (Vargas, 2007).

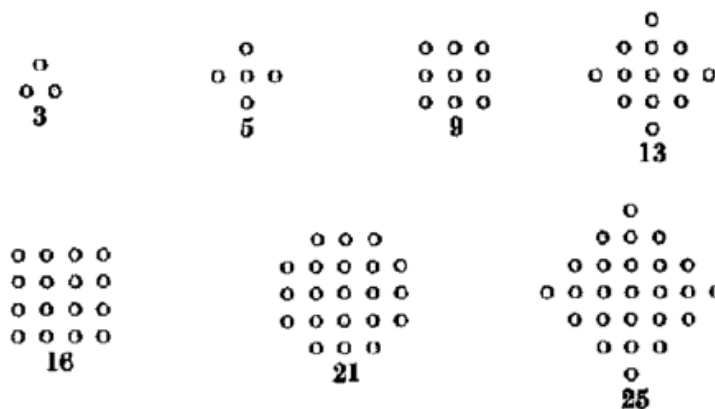


Figura 20: Combinaciones de número de plántulas para diferentes magnitudes de grupo, basado en Anderson, 1953.

Fuente: González Hernández et al., 2021.

B. Formación de microsítios para el establecimiento de regeneración

Comprende la creación de condiciones favorables para incrementar la probabilidad de que los propágulos de las especies nativas alcancen el suelo, germinen, se establezcan y desarrollen. Se promueve la activación de la sucesión controlando o suprimiendo las especies dominantes, cambiando las condiciones del suelo por enmiendas químicas u orgánicas, destapando el banco de semillas, cambiando las micro-condiciones físicas, ampliando el espacio de colonización (Vargas, 2007)

Esta técnica tiene el potencial de reactivar la regeneración natural y cuando los propágulos de especies nativas se han reducido o desaparecido promueve la introducción de propágulos, plántulas y la plantación de especies leñosas nativas resistentes (Vargas, 2007).

C. Transposición de suelos

Técnica diseñada para recuperar el suelo y promover la regeneración natural mediante la transposición de suelos saludables de bosques remanentes a sitios degradados. Los fragmentos de suelo transpuesto poseen semillas, propágulos, microorganismos, hongos, bacterias, lombrices y otros organismos, que promoverán el establecimiento de especies pioneras en núcleos de regeneración (Reis et al., 2003 citado por González Hernández et al., 2021).

En el sitio de referencia se obtienen muestras de 1 m² con un horizonte de profundidad entre 15 a 25 cm, los que deben poseer hojarasca, materia orgánica y microorganismos; estos se depositan en agujeros de las mismas dimensiones en el sitio degradado (González Hernández et al., 2021).

D. Enmiendas al suelo

Técnica aplicable a sitios muy deteriorados y consiste en realizar un enriquecimiento de nutrientes en el suelo, utilizando enmiendas orgánicas y/o químicas, dependiendo del objetivo de la restauración. Estas acciones promueven el establecimiento y aumento de la producción de biomasa de especies herbáceas. Es útil en situaciones donde es necesario recuperar la cobertura, estabilidad del suelo, retención de agua, antes que recuperar la composición o estructura del ecosistema (Vargas, 2007).

Las enmiendas pueden ser aplicando materia orgánica, fertilizantes químicos y por medio de biosólidos obtenidos a partir de aguas residuales, que contienen altas cantidades de materia orgánica, fósforo, potasio y alta humedad (Vargas, 2007).

E. Micorrización de sitios degradados biológicamente

Esta técnica está orientada a la recuperación de los microorganismos del suelo, los que generalmente son afectados en los fenómenos de degradación. Los hongos formadores de micorrizas, son organismos que contribuyen al establecimiento, supervivencia y crecimiento de las plantas, al desarrollar micelio intra y extraradical que sirve de enlace entre las plantas y el suelo facilitando el suministro de nutrientes y agua a las plantas. Esta asociación se establece con especies vegetales de las familias *Betulaceae*, *Fagaceae*, *Pinaceae* y *Salicaceae*, que son totalmente dependientes de asociación mutualista ectomicorrícica para su establecimiento, crecimiento y sobrevivencia (Marks y Kolowski, 1973 citado por Martínez de Aragón et al., 2012; Smith y Read, 1997 citado por Buscardo et al., 2009). Además, las micorrizas afectan la diversidad y composición de la vegetación del ecosistema, al influir en las habilidades competitivas de las especies vegetales (Vargas, 2007).

Las especies micorrícicas obligadas como los pinos son afectadas en su desarrollo en zonas afectadas por incendios que tienden a eliminar los propágulos de micorrizas (Vargas, 2007). Estas condicionantes definen esta técnica de restauración como pertinente en los bosques de pino y pino-encino de Guatemala.

F. Perchas y madriguera artificiales

Son estructuras construidas con materiales (postes, ramas, bambúes, trozos de madera, piedra), cercanos al área de restauración, constituyéndose en sitios de descanso o resguardo de la fauna local. Su propósito es facilitar el movimiento de animales y en consecuencia semillas de un sitio a otro.

Las perchas promueven la dispersión de semillas de bosques cercanos por aves y murciélagos. Se recomienda establecer de 10 a 30 perchas o madrigueras por hectárea en arreglo sistemático o aleatorio (Sanchún et al., 2016 citado por González Hernández et al., 2021).

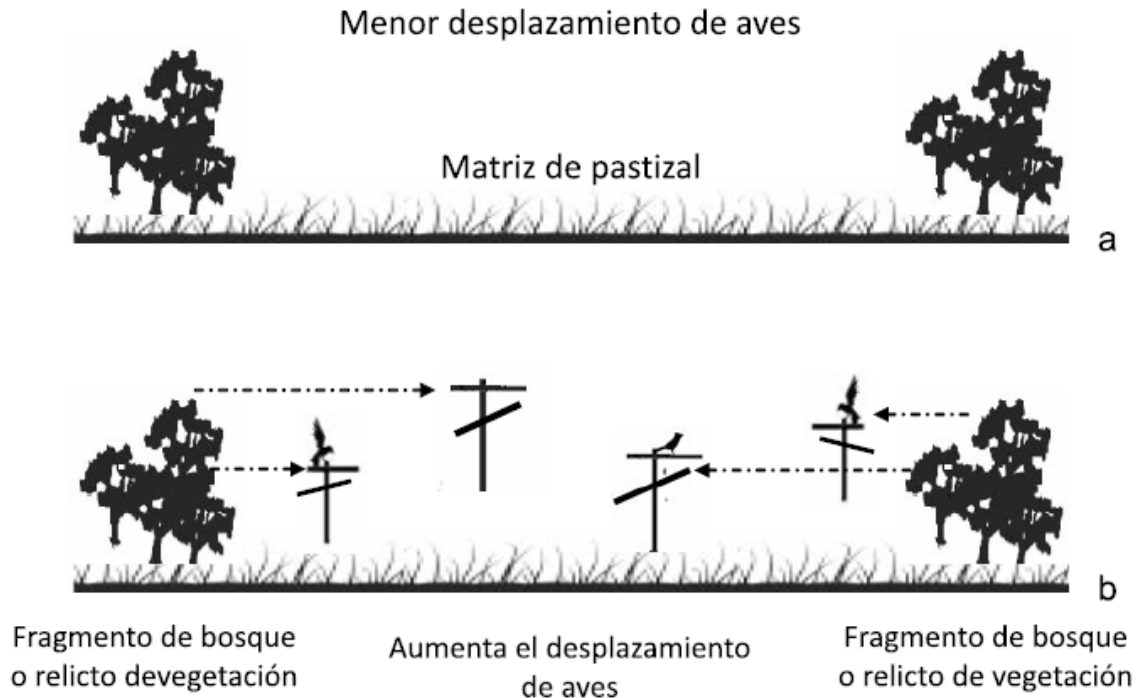


Figura 21: a. Las aves disminuyen su desplazamiento dentro de la matriz del pastizal al no encontrar sitios para percharse. b. La instalación de perchas para aves aumenta el desplazamiento de las aves dentro de la matriz de pastizal y la llegada de semillas ornitócoras al suelo

Fuente: González Hernández et al., 2021.

4.3.6. Restauración de suelos

Para promover la restauración y mantenimiento del suelo degradado se deben realizar acciones de prevención, mitigación y rehabilitación de suelo. Las prácticas diseñadas para la reducción o prevención de la erosión del suelo principalmente.

4.4. Modelo del proceso de restauración de Tierras Forestales Degradadas

El modelo de la figura 22, ilustra el proceso y opciones de planificación de restauración forestal para facilitar la implementación de proyectos de Restauración en Tierras Forestales Degradadas.



Figura 22: Esquema para la planificación de la restauración de tierras forestales degradadas.

5.

Sección V. Metodología para la priorización de especies para restauración forestal del ecosistema de coníferas de Guatemala

5.1. Fundamentación metodológica

La priorización de especies para la restauración forestal del bosque de coníferas y ripario del ecosistema de coníferas de Guatemala, se fundamenta en principios teóricos y técnicos de los componentes de valoración biológico-ecológica (Godínez, 2021; Godínez et al., 2017; Godínez et al., 2016; Magdaleno Mas, 2011; Mora Parada et al., 2020; Möller, 2011), socioeconómica (Godínez et al., 2018a; Godínez et al., 2018b; Godínez et al., 1995; Montenegro-Muñoz et al., 2019) y cultural (Biodiversidad mexicana, 2022; Briceño Ávila, 2009; Isasi Catalá, 2011; Toledo et al., , 2019; Pronatura Sur, A. C., 2022), a nivel de paisaje, ecosistema y comunidad forestal.

La priorización se diseñó considerando tres momentos de selección (Figura 23), basados en la existencia de la diversidad asociada a los bosques de coníferas (Godínez S. M., 2021), luego en las funciones ecológicas, socioeconómicas y culturales que cumplen las especies, finalmente la categorización de la especie en función de la integración de valores de las funciones evaluadas. En el filtro nivel 2 se definieron grupos de criterios de valoración para cada componente y los respectivos parámetros de valoración (Tabla 12). Los parámetros desarrollados formulan cualidades descriptivas del criterio, con el propósito de convertirse en indicadores de realización o condición (Simón et al., 2013) de la especie evaluada. Reflejan el estado, el impacto, la presión y la respuesta actual y potencial de la especie en la estrategia de restauración forestal.

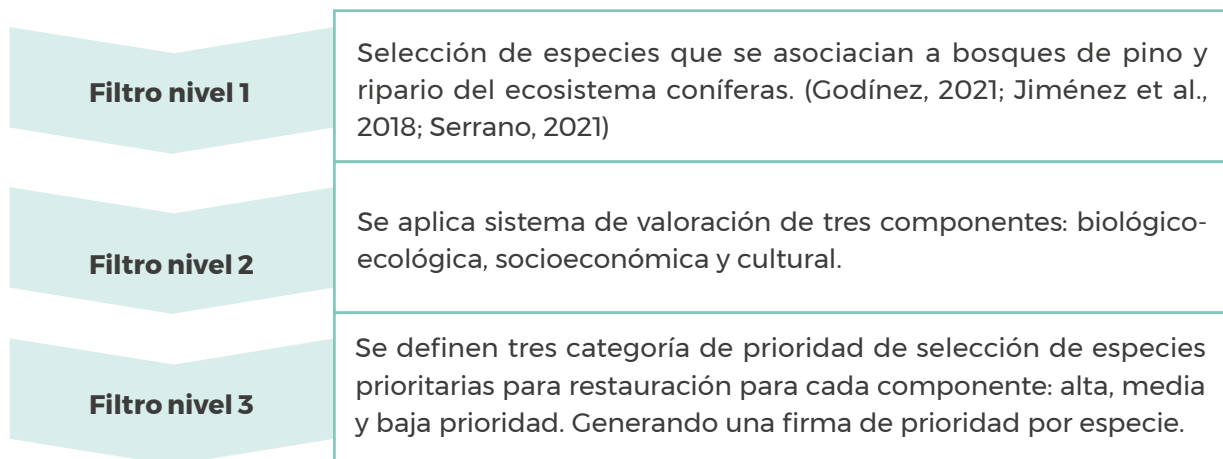


Figura 23: . Proceso metodológico para la priorización de especies para restauración forestal de bosque de pino y ripario del ecosistema de coníferas de Guatemala. (Elaboración propia).

Tabla 13: Componentes, criterios, parámetros y ponderaciones para la priorización de especies de coníferas y latifoliadas de los bosques de pino y zonas de ribera del ecosistema de coníferas de Guatemala.

Componente	Criterio	Parámetro	Ponderación
VEB	Grupo ecológico funcional (GEF)	Especie pionera	4
		Especies secundaria	3
		Especie etapa madura	1
	Facilidad de reproducción aplicable a coníferas (FR)	Regeneración natural > 5,000/ha	4
		Regeneración natural de 2,500 a <5,000/ha	3
		Regeneración natural de 1,000 a <2,500/ha	2
		Regeneración natural de 100 a <1,000/ha	1
		Regeneración natural de 0 a <100/ha	0
	Facilidad de adaptación aplicable a latifoliadas (FA)	Valor ecológico alto	4
		Valor ecológico medio	3
		Valor ecológico bajo	2
		Valor ecológico raro	1
	Estabilización del suelo (ES)	Aplica	1
		No aplica	0
	Función de regulación ecosistémica	Especies facilitadora o nodriza (EF)	1
		Atracción de dispersores (AD)	1
		Fijación de nitrógeno (FN)	1
		Aporte de materia orgánica (MO)	1
		Estabilización del suelo (ES)	1
	Protección de riberas*(PR)	Especie exclusiva de ribera	1-2
Especie de ribera y bosque de conífera		3-4	
No aplica		0	

VAE	LEA-CONAP	Índice de amenaza 1 (C1)	3
		Índice de amenaza 2 (C2)	2
		Índice de amenaza 3 (C3)	1
		No aplica	0
	UICN	Extinto EX	8
		Extinta en estado silvestres EW	7
		Peligro crítico CR	6
		En peligro EN	5
		Vulnerable VU	4
		Amenazada por comercio CT	3
		Casi amenazada NT	2
		Preocupación menor LC	1
		No aplica	0
	CITES	Apéndice I	3
		Apéndice II	2
		Apéndice III	1
Endemismo	Especie endémica	1	
	No aplica	0	
VSE	Valor de uso futuro del sitio	Conservación de biodiversidad (Cb)	1
		Protección de agua y suelo (Psa)	1
		Producción (Pr)	1
	Producción maderable	Madera (Ma)	1
		Leña/ carbón vegetal (Lcb)	1
		Uso artesanal-industrial (Uai)	1
	Producción no maderable	Especie frutal/alimenticia (Fra)	1
		Especie medicinal (Me)	1
		Especie forrajera (Fo)	1
		Producción apícola/melífera (Pa)	1
		Productos no maderables (Nm)	1
		Uso ornamental (Uo)	1
		No aplica	0
	Usos productivos	Agroforestería (Ag)	1
		Restauración ecológica (Re)	1

VC	Valor patrimonial	Valor estético (VE)	1
		Potencial ecoturístico-recreativo (PER)	1
		Especie emblemática (EE)	1
		No aplica	0
	Valor simbólico-espiritual	Uso ceremonial-espiritual (UCE)	1
		Uso artesanal tradicional (UAT)	1
		Recurso biocultural (RB)	1
		No aplica	0
Referencias: *Criterio de valoración para especies latifoliadas. Valor muy alto-4: especie de bosque de coníferas y de ribera, con más de un uso socio-económico y cultural. Valor alto-3: especie de bosque de coníferas y de ribera con un uso socioeconómico o cultural. Valor medio-2: especie exclusiva de ribera, con uso socioeconómico y cultural. Valor bajo-1: especie exclusiva de ribera.			

Los resultados de las ponderaciones de cada componente generan los niveles alto, medio y bajo de prioridad de importancia de las especies para utilizarlas en los procesos de restauración forestal, según los rangos de valoración detallados en la tabla 14, para especies de coníferas y latifoliadas asociadas. Los colores que identifican el nivel de prioridad, se utilizan para generar la firma de prioridad de cada especie según el componente de valoración, como modelo de decisión según los objetivos de restauración que se vincula con el criterio de uso futuro del sitio.

Tabla 14: Niveles de prioridad de especies para uso en restauración forestal del ecosistema de coníferas, en base a rangos de ponderación por componente de valoración.

Componente	Nivel de prioridad		
	Alto	Medio	Bajo
VEB _{conifera}	8-12	3-7	1-2
VEB _{latifoliada}	13-17	8-12	1-7
VAE _{conifera}	7-15	3-6	0-2
VAE _{latifoliada}	5-12	2-4	0-1
VSE _{conifera}	6-9	3-5	0-2
VSE _{latifoliada}	9-15	6-8	1-5
VC _{conifera}	4-6	2-3	0-1
VC _{latifoliada}	3-6	1-2	0

Tabla 15: Matriz de priorización de especies de coníferas para restauración forestal de bosque de pino y zonas ribereñas del ecosistema de coníferas de Guatemala.

Nombre científico	Nombre común	Rango altitudinal	Componente ecológico-biológico						
			GEF	FR	ES	PR	VEB	LEA	UICN
CUPRESACEAE									
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Ciprés común	2,200-3,300	3	3	0	0	6		LC
<i>Juniperus comitana</i> Martínez	Cipresillo	1,200-2,150	2	2	1	0	5	C1	EN
<i>Juniperus standleyi</i> Steyerem.	Huito	3,000-4,100	3	3	1	0	7	C1	EN
<i>Taxodium huegelii</i> C. Lawson	Sabino, ahuehuetl	800-2,000	1	1	1	2	5	C2	LC
PINACEAE									
<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	Pinabete	2,600-3,500	3	4	1	0	8	C1	EN
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltldl.	Pino blanco	2,000-3,400	2	2	1	3	8		LC
<i>Pinus caribaea</i> Morelet		900-600 o menos	3	2	0	0	5	C2	LC
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl	Pino colorado	2,300-4,000	3	4	1	3	11		LC
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	Pino candelillo	1,100-2,400	3	3	1	3	10		LC
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.		1,100-2,600	3	3	1	0	7		LC
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	Pino ocote	500-2,750	3	4	1	3	11		LC
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino triste	1,600-3,200	3	3	1	3	10		LC
<i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> Martínez		800-2,000	2	1	0	0	3	C2	EN
<i>Pinus tecunumanii</i> F. Schwerdtf. ex Eguiluz & J. P. Perry	Pino colorado	1,500-2,850	3	4	1	3	11	C3	VU

			Componente socioeconómico										Componente cultural						
CITES	En	VAE	Cb	Psa	Pr	Ma	Lcb	Me	Pnm	Uai	Uo	VSE	Ve	Per	Ee	Uce	Uat	Rb	VC
		1			1	1		1	1	1	1	6				1		1	2
		8	1	1			1					3	1			1			2
		8	1	1			1		1		1	5	1	1	1	1			4
		3		1		1					1	3	1	1	1				3
1	1	12	1	1	1				1	1	1	6	1	1	1	1	1	1	6
		1		1	1	1			1	1	1	6	1				1	1	3
		3			1	1						2							0
		1		1	1	1	1		1			5	1			1		1	3
		1			1	1			1			3						1	1
		1		1	1	1			1			4				1		1	2
		1		1	1	1	1		1	1		6				1		1	2
		1		1	1	1		1	1			5				1		1	2
		7	1	1	1	1			1		1	6	1	1	1				3
		5		1	1	1	1		1	1		6			1	1		1	3

Referencias: **GEF**: grupo ecológico funcional; **FR**: facilidad de reproducción; **FA**: facilidad de adaptación; **EF**: especie facilitadora; **AD**: atracción de dispersores; **FN**: fijación de nitrógeno; **MO**: aporte de materia orgánica al suelo; **ES**: Estabilización del suelo; **PR**: protección de riberas; **VEB**: valor ecológico-biológico. **LEA**: Estatus de amenaza Conap; **UICN**: estatus de amenaza según UICN; **CITES**: estatus de amenaza según CITES; **En**: estatus de endemismo; **VAE**: Valor de amenaza y endemismo. **Cb**: conservación de biodiversidad; **Psa**: protección del suelo y agua; **Pr**: producción sostenible; **Ma**: maderable; **Lcb**: leña/ carbón/ biocombustible; **Uai**: uso artesanal industrial; **Fra**: especie frutal/ alimenticia; **Fo**: forrajera; **Pa**: producción apícola/ melífera; **Me**: medicinal; **Pnm**: producción no maderable; **Uo**: uso ornamental; **Ag**: uso agroforestal; **Re**: uso en restauración ecológica; **VSE**: Valor socioeconómico. **Ve**: valor estético; **Per**: potencial ecoturístico y recreativo; **Ee**: especie emblemática; **Uce**: uso ceremonial-espiritual; **Uat**: uso artesanal tradicional; **Rb**: recurso biocultural; **VC**: valora cultural.

Tabla 16: Matriz de priorización de especies de latifoliadas para restauración forestal de bosque de pino y zonas ribereñas del ecosistema de coníferas de Guatemala.

Nombre científico	Nombre Común	Rango Altitudinal	Ecológico-biológico					
			CEFF	FA	EF	AD	FN	MO
<i>Acer Negundo</i> var. <i>mexicanum</i> (DC.) Standl. & Steyerl.		1,200-3,000	2	1				1
<i>Saurauia kegeliana</i> Schlttdl.		600-2,300	3	1		1		1
<i>Saurauia oreophila</i> Hemsl.		1,500-3,300	4	4		1		1
<i>Viburnum discolor</i> Benth.		1,800-3,500	4	4	1	1		1
<i>Oreopanax capitatus</i> (Jacq.) Decne. & Planch.		≤ 2,800	2	1		1		1
<i>Oreopanax echinops</i> (Schlecht. & Cham.) Dene. & Planch.		1,100-2,700	1	1		1		
<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. & Planch.		750-3,100	4	4		1		1
<i>Montanoa guatemalensis</i> B. L. Rob. & Greenm.	Palo santo, sacapoc	1,300-3,300	3	2	1	1		1
<i>Verbesina apleura</i> S.F. Blake			4	4	1			1
<i>Berberis volcania</i> (Standl. & Steyerl.) Marroq. & Laferr.a			2	3				
<i>Alnus acuminata</i> subsp. <i>arguta</i> (Schlttdl.) Furlow	Aliso	1,350-3,000	4	4	1		1	1
<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	Aliso	1,800-3,700	4	4	1		1	1
<i>Carpinus caroliniana</i> var. <i>tropicalis</i> Bonn. Smith	Duraznillo	1,300-2,800	2	1				1
<i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Winkl.) Macbride	Taticoba, aliso blanco o colorado	1,000-3,000	2	1				1
<i>Brunellia mexicana</i> Standl.		1,300-3,00	1	1				1
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Indio desnudo, jiote	Hasta 1,800, (2,000)	2	2				1
<i>Zinowiewia rubra</i> Lundella		1,800-3,500	2	2				
<i>Hedyosmum mexicanum</i> C.Cordem.	Te maya	1,200-2,900	4	3		1		1
<i>Clethra licanioides</i> Standl. & Steyerl.		1,500-1,700	2	2				1
<i>Clethra mexicana</i> DC		550-2,500	4	3	1			1
<i>Clethra pachecoana</i> Standl. & Steyerl.		2,00-3,200	4	3				1
<i>Cornus disciflora</i> Moc. & Sessé ex DC.		2,000-3,000	3	2		1		1
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Chulube, madrón	1,300-2,800	4	4	1	1		1
<i>Comarostaphylis arbutoides</i> Lindl.	Madroncillo	1,800-3,000	4	3		1		
<i>Jatropha Curcas</i> L.	Piñon, tempate	1,500 o menos (2,000)	2	1				1
<i>Diphysa robinoides</i> Benth. & Oerst.	Guachipilin	600-2,500	1	3			1	1
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Conacaste, pit	0-300 (1,200)	3	3			1	1

Ecológico-biológico							Socioeconómico													Cultural							
ES	PR	VEB	LEA	UIGN	En	VAE	Cb	Psa	Pr	Ma	Lcb	Uai	Fra	Me	Fo	Pa	Uo	Ag	Re	VSE	VE	PER	EE	UCE	UAT	RB	VC
1	3	8	C2	VU		6	1	1		1						1	1	1	1	7	1				1	1	3
1	2	9		LC		1	1	2			1		1			1	1			7						1	1
1	2	13	C2	LC		3	1	1			1		1			1	1			6						1	1
1		12				0		1			1					1			1	4							0
		5		LC		1	1	1								1	1		1	5						1	1
1	1	5		LC		1	1	1			1					1	1			5	1	1					2
1	1	12		LC		1		1			1					1	1		1	5	1						1
1	3	12		LC		1	1	1			1				1	1	1	1	1	8	1		1		1	1	4
1		11		LC		1		1	1	1	1				1	1	1		1	8						1	1
		5		LC	1	2	1	1			1	1					1			5							0
1	4	16		LC		1		1	1	1	1	1		1	1	1		1	1	10						1	1
1	4	16		LC		1		1	1	1	1	1		1	1	1		1	1	10						1	1
1	2	7		LC		1		1		1	1	1				1	1		1	7	1						1
1	2	7		LC		1		1	1	1	1					1	1		1	7	1						1
		3		LC		1		1	1	1								1	1	5							0
1	3	9		LC		1		1		1	1					1		1	1	6				1		1	2
	2	6	C2	VU	1	7	1	1		1	1	1							5								0
1	3	13		LC		1		1			1		1	1		1			1	6						1	1
1		6			1	1	1	1		1	1					1	1		1	7							0
1		10		LC		1	1	1		1	1					1	1		1	7							0
1		9		VU	1	5	1	1		1	1					1	1		1	7							0
1	3	11		LC		1	1	1		1	1						1		1	6	1						1
1	3	15		LC		1		1	1		1	1		1					1	6	1				1	1	3
1		9		LC	1	2		1			1	1				1	1		1	6	1				1		2
1	2	7				0		1			1			1					1	5						1	1
1	3	10	C3	LC		2					1			1	1		1	1	1	6	1					1	2
1	4	13	C3	LC		2		1	1	1	1	1		1		1		1	1	9	1				1	1	3

Tabla 17: Matriz de priorización de especies de latifoliadas para restauración forestal de bosque de pino y zonas ribereñas del ecosistema de coníferas de Guatemala (continuación...).

Nombre científico	Nombre Común	Rango Altitudinal	Ecológico-biológico					
			CLEF	FA	EF	AD	FN	MO
<i>Erythrina berteroana</i> Urban	Machetillo	Hasta 2,000	2	1		1	1	1
<i>Erythrina macrophylla</i> DC.	Mich	1,200-2,500	3	1		1	1	1
<i>Inga vera</i> Willd.	Cuje, paterno	<1,500	3	4		1	1	1
<i>Quercus skinneri</i> Benth.	Chicharro	700-2,200	1	1				1
<i>Quercus tristis</i> Liebm.	Machichi	1,000-2,600	2	2				
<i>Quercus benthamii</i> A.DC		1,500-2,700	2	1		1		1
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Roble	1,500-2,600	4	3		1		1
<i>Quercus ocoteifolia</i> Liebm.	Encino	1,500-3,300	4	3		1		1
<i>Quercus peduncularis</i> Née	Roble	1,000-3,000	4	4		1		1
<i>Quercus seemannii</i> Liebm.	Roble	2,500-3,200	4	4		1		1
<i>Carya laurifolia</i> Benth.	K'atze	1,500-3,600	4	4	1	1		1
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Tzoté, liquidambar	900-2,100	2	1	1			
<i>Juglans guatemalensis</i> W.E. Manning	Nogal	500-1,500	4	1				
<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	Laurel	1,300-3,500	4	4		1		1
<i>Persea schiedeana</i> Nees	Coyeu, chucte	900-2,700	2	1		1		1
<i>Persea</i> sp.	Aguacate		4	3		1		1
<i>Byrsonima crassifolia</i> Kunth	Nance	<1,300	3	3		1		
<i>Chiranthodendron pentadactylon</i> Larreat.	K'anack	2,000-3,000	4	2	1			1
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Caulote	<1,200	4	3		1		
<i>Ficus</i> sp.	Amates	500-2,000	3	2		1		
<i>Morella cerifera</i> (L.) Small	Arrayán	hasta 2,500	3	2	1		1	
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzing) Lingelshei	Fresno	1,100-2,600	3	1	1	1		1
<i>Fuchsia arborescens</i> Sims		1,300-2,900	3	3		1		1
<i>Cleyera theoides</i> (Sw.) Choisy		1,300-3,000	4	4				
<i>Ternstroemia tepezapote</i> Cham. & Schltldl.		≤ 3,150	3	2				
<i>Platanus chiapensis</i> Standl.	Haya, sicomoro, alamo	Hasta 1,100	2	1				
<i>Ardisia compressa</i> Kunth		≤ 2,500	1	2		1		1

Ecológico-biológico							Socioeconómico														Cultural							
ES	PR	VEB	LEA	UICN	En	VAE	Cb	Psa	Pr	Ma	Lcb	Uai	Fra	Me	Fo	Pa	Uo	Ag	Re	VSE	VE	PER	EE	UCE	UAT	RB	VC	
	3	9		LC		1		1	1		1		1		1	1		1	1	8				1		1	2	
	3	10				0		1	1		1		1		1	1		1	1	8				1		1	2	
1	4	15	C3	LC		2	1	1			1		1			1		1	1	7						1	1	
1		4	C3	NT		3	1	1	1	1	1	1						1	1	1	9	1	1			1	1	4
2	3	9	C3	LC		2		1	1	1	1	1							1	6	1						1	
1		6	C2	NT		4		1	1	1	1	1							1	6							0	
1		10	C3	LC		2		1	1	1	1	1							1	6						1	1	
1	4	14	C3	LC		2		1	1	1	1	1					1		1	7	1						1	
1	4	15	C3	LC		2		1	1	1	1	1							1	6					1	1	2	
1		11		LC		1		1	1	1	1	1							1	6							0	
		11		LC		1	1	1			1			1						4						1	1	
1	3	8				0		1	1	1	1	1		1			1		1	8	1	1		1		1	4	
		5		C2		2			1	1		1						1	1	5							0	
1		11		LC		1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	11	1			1		1	3	
1	2	8	C2	EN		7		1	1	1			1			1		1	1	7			1			1	2	
	4	13				0		1	1	1	1		1	1		1		1	1	9						1	1	
	4	11		LC		1	1	1			1		1	1			1		6	1					1	1	3	
1	4	13	C1	LC		4	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	12	1		1			1	3	
1	3	12		LC		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1		1	1	11						1	1	
1	2	9				0	1	1						1			1	1		5	1				1	1	3	
1		8		LC		1		1			1							1	1	4				1		1	2	
1	4	12		LC		1		1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	10	1	1				1	3	
1	1	10				0		1			1				1	1	1		1	6						1	1	
1		9		LC		1	1	1		1	1	1		1		1			1	8							0	
1		6				0	1	1		1	1	1		1		1			1	8							0	
1	2	6				0		1	1	1	1	1		1			1		1	8	1				1	1	3	
1	2	8		LC		1	1	1			1		1			1	1		1	7	1						1	

Tabla 18: Matriz de priorización de especies de latifoliadas para restauración forestal de bosque de pino y zonas ribereñas del ecosistema de coníferas de Guatemala (continuación...).

Nombre científico	Nombre Común	Rango Altitudinal	Ecológico-biológico					
			CE	FA	EF	AD	FN	MO
<i>Myrsine juergenseni</i> (Mez) Ricketson & Pipoly		1,300-3,000	3	2				1
<i>Parathesis tartarea</i> Lundell		≤ 3,900	4	3		1		1
<i>Frangula discolor</i> (Donn.Sm.) Grubov	Aliso Santiago	500-2,700	2	2		1		1
<i>Photinia matudai</i> Lundell		2800	2	1				
<i>Prunus brachybotrya</i> Zucc.	Escobo, puc, aceituno	500-2,700	4	3	1	1		1
<i>Prunus rhamnoides</i> Koehne	Capulín	2,000-3,000	4	3	1	1		1
<i>Prunus salasii</i> Standl	Carreto	1,400-2,800	4	2	1	1		1
<i>Prunus serotina</i> subsp. <i>capuli</i> (Cav. ex Spreng.) McVaugh	Cerezo, capulin	1,500-3,000	3	2		1		1
<i>Casimiroa edulis</i> Llave & Lex.	Matasano	600-2,700	3	1	1	1		1
<i>Populus alba</i> L.	Alamo blanco	2,000-2,400	2	1				1
<i>Salix bonplandiana</i> Kunth	Sauce	1,350-2,800	3	2				1
<i>Buddleja megalcephala</i> Donn.Sm.	Salvia, patushé	2,400-4050	4	4	1			1
<i>Buddleja skutchii</i> Morton	Salvia blanca	1,600-3800	4	4	1			1
<i>Symplocos hartwegii</i> A.DC.a	Aceituno	1,200-3,400	2	2		1		
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Capulin	Hasta 2,000 (2,350)	3	2		1		1
<i>Citharexylum mocinoi</i> var. <i>longibracteolatum</i> Moldenke		1,500-2,800	3	1		1		1
<i>Drimys granadensis</i> L.f.	Chilillo, palo de chile	1,600-3,000	4	3				

Ecológico-biológico							Socioeconómico														Cultural						
ES	PR	VEB	LEA	UICN	En	VAE	Cb	Psa	Pr	Ma	Lcb	Uai	Fra	Me	Fo	Pa	Uo	Ag	Re	VSE	VE	PER	EE	UCE	UAT	RB	VC
1	3	10		LC		1	1	1		1	1				1		1	1	1	8						1	1
1	2	12				0	1	1			1		1			1	1		1	7	1						1
1	4	11		LC		1	1	1		1	1					1	1	1	1	8						1	1
		3			VU	4	1	1		1	1					1			1	6							0
1	3	14				0	1	1		1	1	1				1	1		1	8	1					1	2
1	4	15	C2	LC		3	1	1		1	1	1	1			1	1		1	9	1					1	2
1	4	14	C2	EN	1	8	1	1		1	1					1	1		1	7							0
1	4	12				0		1	1	1	1	1	1	1					1	1	9	1			1	1	3
	3	10		LC		1		1		1			1	1					1	1	6					1	1
1	2	7		LC		1		1	1	1	1	1					1		1	7	1				1	1	3
1	3	10				0		1	1	1	1					1	1	1	1	8	1				1	1	3
1		11	C1	EN	1	9	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	11	1	1				1	3
1		11				0		1	1	1	1				1	1			1	1	8						0
	3	8	C2	NT		4	1	1		1	1	1	1			1	1		1	9	1						1
	3	10		LC		1		1	1	1	1		1			1			1	8					1	1	2
	3	9		LC		1		1		1						1			1	4	1						1
	3	10		C2		2	1	1		1					1				1	5	1			1		1	3

5.2. Guía ilustrada de especies prioritarias para la restauración forestal de los bosques de coníferas y de zonas riparias asociadas de Guatemala

La guía ilustrada se derivó del proceso de priorización de especies para restauración forestal de los bosques de pino, pino-encino y zonas riparias del ecosistema de coníferas de Guatemala.

Las especies priorizadas tienen un valor biológico-ecológico, socioeconómico y cultural significativo en el área geográfica de distribución natural. Se ilustran las 14 especies de coníferas más importantes, por ser los elementos bióticos que identifican a los bosques de coníferas y algunas de las especies también cumplen funciones de protección de riberas o son exclusivas de estas zonas como el *Taxodium huegelii* C.Lawson (Standley & Steyermark, 1947/1977; The Plant List, 2013; Veblen, 1977). Cada especie de conífera tiene un descriptor relacionado con los requerimientos ambientales y los principales usos (Instituto de Investigaciones y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar, 2018; Ramírez Soto, Villa Bonilla, & Sheseña Hernández, 2021; Ramírez-Soto, y otros, 2021), esta caracterización es para fortalecer las iniciativas de restauración desde la perspectiva ambiental y socioeconómica.

Cada ficha ilustrativa tiene la información de identidad taxonómica y una firma que expresa el valor biológico-ecológico, de amenaza y endemismo, el socioeconómico y el cultural. La firma indica el nivel de prioridad para restauración de la especie en alta, media y baja prioridad en colores naranja, verde y azul respectivamente.

Al inicio de la guía se incluye una ficha técnica que permite orientar al lector para facilitar la lectura de los niveles del valor en cada uno de los componentes de valoración (ecológico-biológico, socioeconómico y cultural) de cada una de las especies ilustradas.

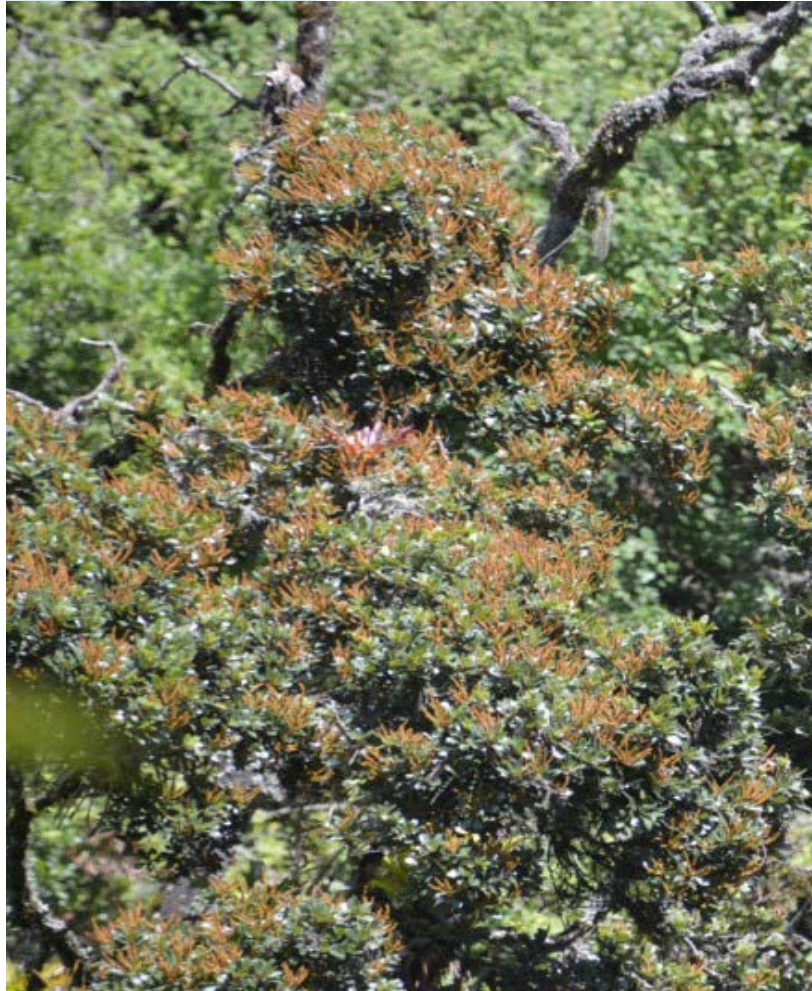
5.2.1. Modelo de gráfico de lectura de las fichas técnicas de especies de árboles para restauración forestal del bosque de coníferas

Nombre científico de la especie
 Familia botánica
 Nombre común

Nivel de prioridad
 de la especie para
 restauración forestal

	Prioridad alta
	Prioridad media
	Prioridad baja

Clethra mexicana
 Clethraceae
 Tulul ché, zapotillo



Firma de
 priorización
 de la especie
 de árbol o
 arbusto

VEB	VAE	VSE	VC

Código del criterio de priorización de especies de árboles y arbustos para restauración forestal

VEB: Valora ecológico-biológico

VSE: Valor socioeconómico

VAE: Valor del estado de amenaza y
 endemismo

VC: Valor cultural

Nombre científico: *Abies guatemalensis* Rehder

Familia: Pinaceae

Nombres comunes: pinabete, árbol de navidad, pac'shac

Descripción

Altura: 25-45 m.

Tamaño de hojas: 1-4.5 cm. de largo y 1-2 mm. de ancho, dispuestas en dos hileras ascendentes.

Tamaño de cono: Subsésiles, 8.5-11.5 cm. de largo, 4.5-5 cm. de diámetro.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 2.300-3.400.

Resistencia a la sequía: Media a sensible.

Temperatura °C: 6-18.

Precipitación mm/año: 900-2,573.

Distribución geográfica-administrativa:

Totonicapán, Huehuetenango, Jalapa, Quetzaltenango, Quiché, Zacapa y San Marcos.

Usos:

Maderable: aserrío, postes, durmientes y tableros de partículas.

Ornamental: árbol con fines decorativos en parques, jardines y espacios abiertos.

Ceremonial: árbol, coronas, guirnaldas con fines navideños; las ramas se utilizan para decoración de iglesias y casas para celebraciones tradicionales.

Artesanal: su madera es utilizada para construir telares para fabricar textiles.

Agroforestal: se cultiva en asocio con cultivos anuales en el altiplano.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Pinus ayacachuite* Ehrenberg

Familia: Pinaceae

Nombres comunes: pino blanco, pino tabla, pinabete

Descripción:

Altura: hasta 50 m y 2 m de diámetro.

Tamaño de acículas: 5.5-22 cm. de largo, 1-6 mm. de grosor.

No. acículas/fascículo: 5.

Tamaño de cono: cilíndricos 22-45 cm. de largo y 4-10 cm. de grosor.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 2,000-3,300.

Resistencia a la sequía: Media a sensible.

Temperatura °C: 6-18.

Precipitación mm/año: 1,100-2,573.

Distribución geográfica-administrativa:

El Progreso, Zacapa, Jalapa, Guatemala, Quiché, Huehuetenango, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos.

Usos:

Maderable: construcción, mueblería, cajas para embalaje.

Industrial: la corteza se utiliza en curtiembre a nivel local.

Ornamental: árbol decorativo en parques, jardines y espacios abiertos.

Ceremonial: árbol navideño.

Artesanal: fabricación de cajas para joyería y embalaje de dulces típicos, juguetes tradicionales.

Agroforestal: se planta en asocio con cultivos anuales.



Fotografía S.I. Godínez



Fotografía S.I. Godínez

VEB	VAE	VSE	VC



Fotografía S.I. Godínez

Nombre científico: *Pinus caribaea* Morelet

Familia: Pinaceae

Nombre común: pino

Descripción:

Altura: 15-30 m. 1 m de diámetro.

Tamaño de acículas: 5-25 cm. de largo, 1-1.5 mm. de grosor.

No. acículas/fascículo: Hojas en fascículos de 4 a 5.

Tamaño de cono: 1.8-2 cm. de largo y 6 mm. de ancho.

Distribución geográfica-administrativa:

Alta Verapaz, Izabal, Petén, Sacatepéquez, San Marcos y Zacapa.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 900-600

Resistencia a la sequía: media a baja

Temperatura (C°): 18 a 28

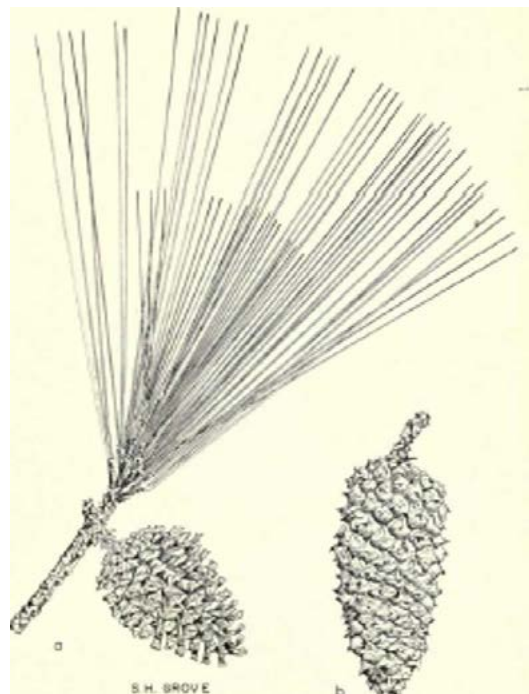
Precipitación mm/año: 1000-4150

Usos:

Maderable: muebles, contrachapados.

Industrial: postes de tendido eléctrico, pulpa de papel y resinas.

Ceremonial: artesanías.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Pinus hartwegii* Lindl

Familia: Pinaceae

Nombres comunes: Pino colorado, pino de las cumbres

Descripción:

Altura: 20-30 y \geq a 1 m. de diámetro.

Tamaño de acículas: 8-12 cm. de largo.

No. acículas/fascículo: 4-5

Tamaño de cono: 7-13 cm de largo y diámetro 5-8 cm.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm.): 2,980-3,270.

Resistencia a la sequía: Media a sensible.

Temperatura °C: 4-18.

Precipitación mm/año: 1,100-2,573.

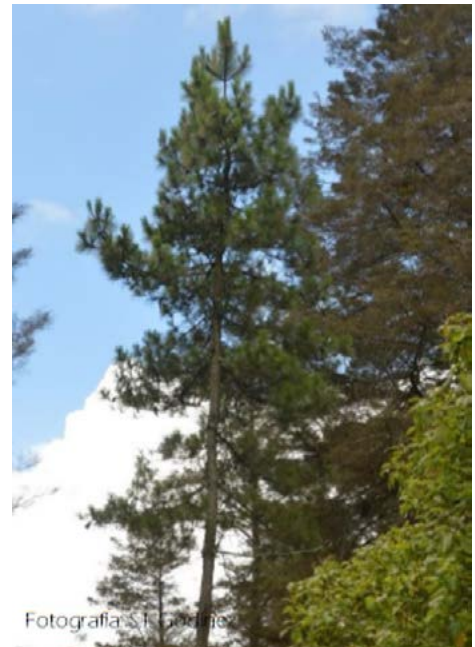
Distribución geográfica-administrativa:

Huehuetenango, Quetzaltenango, Quiché, Totonicapán, Sacatepéquez, Chimaltenango y San Marcos.

Usos:

Maderable: su madera es usada para construcción en general.

Distribución geográfica-administrativa: Alta Verapaz, Baja Verapaz y Chimaltenango.



Fotografía: S.I. Godínez



Fotografía: S.I. Godínez



Fotografía: S.I. Godínez

VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Pinus maximinoi* H. E. Moore.

Familia: Pinaceae

Nombre común: pino

Descripción:

Altura: 40-50 m. 40-90 cm. de diámetro
 Tamaño de acículas: 20-35 cm. de largo.
 No. acículas/fascículo: Hojas en fascículos de 5.
 Tamaño de cono: 5-9 cm. de largo y 4-7 cm de ancho.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 1,100-2,400.
 Resistencia a la sequía: media a baja.
 Temperatura (C°): 18 a 24.
 Precipitación mm/año: 1200 a 4250.

Usos:

Maderable: madera aserrada para construcción, producción de pulpa, contrachapado, postes de transmisión eléctrica y telefonía, mangos de escoba.

Industrial: producción de papel kraft, material para cajas de empaque, duelas para piso, revestimientos, cortinas o persianas flexibles y construcciones livianas, muebles rústicos, marco para puertas y ventanas y soportes de techos.

Ceremonial: juguetes y artesanías.

Ornamental: usado como árbol en jardines en campos abiertos y parques residenciales.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Pinus montezumae* Lamb.

Familia: Pinaceae

Nombre común: pino montezuma

Descripción:

Altura: 30m.

Tamaño de acículas: 15-45 cm. de longitud, 1-1.5 mm. de grosor.

No. acículas/fascículo: Hojas en fascículos de 5, ocasionalmente de 4 o 6.

Tamaño de cono: 18-30 cm. largo. 4.5-8 cm. ancho.

Distribución geográfica-administrativa:

Baja Verapaz, Chimaltenango, Quiché, Huehuetenango, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 1,050-3,000.

Resistencia a la sequía: alta a media.

Temperatura (C°): 10-24 (8-14).

Precipitación mm/año: 624-1.200 (901- 2,000).

Usos:

Maderable: fabricación de muebles, estructuras, postes, cercas. Energético: leña y carbón.

Industrial: extracción de resina (trementina).

Ceremonial: uso de follaje para eventos sociales.

Medicinal: producción de resina.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Pinus oocarpa* Schiede

Familia: Pinaceae

Nombres comunes: pino ocote, pino colorado

Descripción:

Altura: 30-35 m. de alto y 40-70 cm. de diámetro.
 Tamaño de acículas: 20-28 cm. de largo,
 No. acículas/fascículo: 5.
 Tamaño de cono: Ovoides 5-8 cm. de largo y diámetro 4-7.5 cm.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm.): 500-2,500.
 Resistencia a la sequía: Alta a baja.
 Temperatura (C°): 13 a 23.
 Precipitación mm/año: de 500 a 3,700.

Distribución geográfica-administrativa:

Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa. Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, Sololá, Quiché, Totonicapán, Huehuetenango.

Usos:

Maderable: construcción, postes, cajas, embalajes y mueblería.
 Energético: madera, leña y ocote.
 Industrial: producción de resina, molduras, decoración, chapas y artículos deportivos.
 Artesanía: fabricación de juguetes.



Fotografía: S.I. Godínez



Fotografía: S.I. Godínez

VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Pinus pseudostrobus* Lind.

Familia: Pinaceae

Nombre común: Pino triste

Descripción:

Altura: 10-30 m.

Tamaño de acículas: 10-35 cm. largo, 0.6-1 mm. de grosor.

No. acículas/fascículo: 5-6

Tamaño de cono: Cónicos ovoides o cónicos oblongos, 5.5-14 cm. de largo, 2.5- 10 cm. de grosor.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 2,000-2,800.

Resistencia a la sequía: Media a sensible

Temperatura (C°): 10-18 (18-21).

Precipitación mm/año: 1,100-2,056

Distribución geográfica-administrativa:

Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Progreso, Jalapa, Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, Sololá, Suchitepéquez, Quetzaltenango, Totonicapán, Huehuetenango.

Usos:

Maderable: aserrío, madera terciada, pilotes, madera para minas y durmientes para ferrocarril.

Energético: leña y carbón.

Industrial: chapa, triplay, pulpa para papel.

Medicinal: se utilizan las acículas para bajar la temperatura, la resina o trementina para sanar las heridas superficiales.

Ceremonial: acículas para eventos sociales y los conos para adorno navideño.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Pinus strobus* var. *chiapensis* Martínez

Familia: Pinaceae

Nombre común: Pino

Descripción:

Altura: hasta 40m.

Tamaño de acículas: 6-12 cm. de largo.

No. acículas/fascículo: Hojas en fascículos de 5.

Tamaño de cono: 10-15 cm. de largo, en pedúnculos de 25-35 mm. de largo.

Distribución geográfica-administrativa:

Huehuetenango, Quiché y Sacatepéquez.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 800-2,000.

Resistencia a la sequía: media a baja.

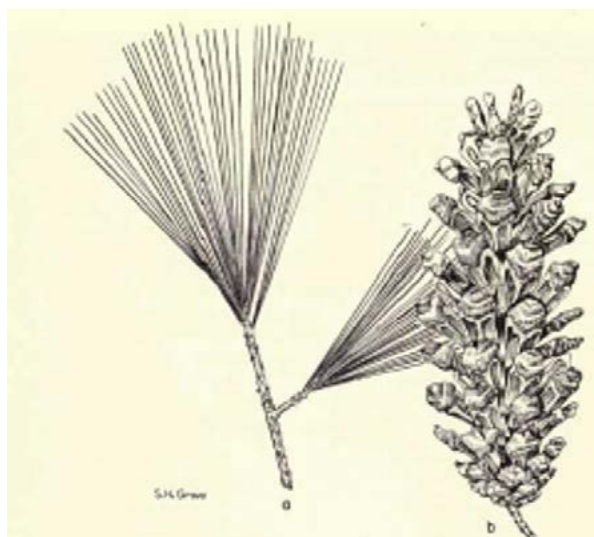
Temperatura (C°): 10 a 24.

Precipitación mm/año: 2000 a 4250.

Usos:

Maderable: construcción ligera, entalladuras de madera y trabajo de madera interior.

Industrial: elaboración de paletas y utensilios varios de cocina y mobiliario.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Pinus tecunumanii* F. Schwerdtf. ex Eguiluz & J. P. Perry

Familia: Pinaceae

Nombre común: Pino de la sierra

Descripción:

Altura: 30-40 m.

Tamaño de acículas: 14-25 cm de largo.

No. acículas/fascículo: 4, a veces 3 o 5.

Tamaño de cono: Angostamente cónicos, 4-8 cm. de largo y 3-5 cm. ancho, solitario o en pares.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm.): 2,800-3,700.

Resistencia a la sequía: Alta a baja.

Temperatura (°C): 18-24.

Precipitación mm/año: 624-3,125.

Distribución ecográfica-administrativa:

Baja Verapaz, Guatemala, Huehuetenango, Jalapa, Quiché y Totonicapán.

Usos:

Maderable: producción de madera para construcción.

Energético: leña, carbón y ocote.

Industrial: extracción de resina,

Ceremonial: uso de acículas para evento sociales.

Agroforestal: Sombra para plantaciones de café de altura.

Comparación de conos de *P. tecunumanni*, *P. oocarpa* y *P. ayacahuite* (Figura de la izquierda, de derecha a izquierda respectivamente).



Fotografía: S.I. Godínez



Fotografía: S.I. Godínez



Fotografía: S.I. Godínez

VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Cupressus lusitanica* Mill.

Familia: Cupressaceae

Nombre común: Ciprés común

Descripción:

Altura (m): ≥ 30

Tamaño de hojas: 1.3-2 mm. de largo.

Hojas de ramas terminales 6-7 mm. de largo.

Tamaño de cono: 1.5 cm. largo.

Distribución geográfica-administrativa:

El Progreso, Chimaltenango, Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 600-3,100.

Resistencia a la sequía: Media a sensible.

Temperatura (C°): 6-15.5.

Precipitación mm/año: 1,141-2,535.

Usos:

Maderable: producción de madera para aserrío.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Juniperus comitana* Martínez.

Familia: Cupressaceae

Nombre común: Cipresillo

Descripción:

Altura (m): 12

Tamaño de hojas: 0.8-1 cm. ancho y 1.5-2 cm. de largo.

Tamaño de cono: 9-10 mm. de largo y 5-8 mm. de ancho. Con 1 o raramente 2 semillas.

Distribución geográfica-administrativa:

Baja Verapaz y Huehuetenango.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 800 - 2,400.

Resistencia a la sequía: Alta a baja.

Temperatura (C°): 18-24.

Precipitación mm/año: 624 - 2,000.

Usos:

Maderable: tablas, vigas, postes para cerco.

Industrial: muebles, puertas y ventanas.

Energético: leña

Artesanal: artesanías.

Agroforestal: útil para la restauración de bosques y suelos degradados.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Juniperus standleyi* Steyerm.

Familia: Cupressaceae

Nombre común: Huito

Descripción:

Altura (m.): 15
 Tamaño de hojas: 1.1-1.4 mm. de grosor y 5- 20 mm. de largo.
 Tamaño de cono: 7-9 mm. de diametro

Distribución geográfica-administrativa:

Huehuetenango y San Marcos.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 3,000-4,100
 Resistencia a la sequía: media-baja.
 Temperatura (C°): 4-15.5
 Precipitación mm/año: 1,141-2,110.

Usos:

Maderable: postes de cerca y construcciones pequeñas.

Energético: leña.



VEB	VAE	VSE	VC

Nombre científico: *Taxodium huegelii* C. Lawson.

Familia: Cupressaceae

Nombres comunes: Sabino, ahuehuetl.

Descripción:

Altura (m.): ≤30.

Tamaño de hojas: 6-12 mm. de largo y 1.5- 2.5 cm. de diámetro.

Tamaño de cono: subglobosos de color café de 1.5 -2.5 de diámetro

Distribución geográfica-administrativa:

Chimaltenango, Huehuetenango, Quetzaltenango, Sacatepéquez y Santa Rosa.

Ecología:

Rango altitudinal (msnm): 10-2,400.

Resistencia a la sequía: baja-sensible.

Temperatura (C°): 10-24.

Precipitación mm/año: 624-2,000.

Usos:

Maderable: canoas, postes y vigas.

Medicinal: propiedades medicinales.

Ornamental: el follaje es utilizado en arreglos florales y plantaciones en jardines abiertos.



VEB	VAE	VSE	VC



Referencias

- Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica. (2010). *Líneamientos Técnicos de Manejo Forestal Sostenible para los Bosques Pino Encino de mesoamérica*. (A. Nájera, L. Pereira, & J. Chapas, Edits.) Guatemala: Conservación Internacional (CI) y The Nature Conservancy (TNC).
- Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica. (2008). *Plan de Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Centroamérica y el Ave Migratoria Dendroica chrysoparia*. Guatemala: Fundación Defensores de la Naturaleza y The Nature Conservancy.
- Birdlife International. (2018). *El estado de conservación de las aves del mundo: tomando el pulso a nuestro planeta*. Cambridge: Autor.
- Buscardo, E., Rodríguez-Echeverría, S., De Angelis, P., & Freitas, H. (2009). Comunidades de hongos ectomicorrícicos en ambientes propensos al fuego: compañeros esenciales para el restablecimiento de pinares mediterráneos. *Ecosistemas*, 18(2), 55-63. Obtenido de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=608>
- Chaluleu Baeza, C. (2020). Fototrampeo en bosques nubosos y latifoliados de la Reserva de la Biósfera Sierra de las Minas, Guatemala. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático-Yu'am*, 4(2), 44-65.
- Decreto Número 101-96. (02 de diciembre de 1996). Ley Forestal. Guatemala.
- Decreto Número 2-2015. (23 de Octubre de 2015). Ley Probosque. *Decreto del Congreso 2-2015*. Guatemala.
- Flores Arzú, R., & Bran González, M. d. (2018). Diversidad de hongos micorrícicos en bosques de *Pinus caribaea* en Poptún, Guatemala. *Revista Científica Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala*, 27(2), 33-47.
- Godínez, S. (2020). *Diversidad de aves nativas del bosque nuboso del Pie de Monte Volcánico Occidental de Guatemala*. San Marcos: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Noroccidente, Programa Académico de Ingeniería Forestal-CARE Guatemala, Fondo para la Conservación de Bosques Tropicales (FCA).
- Godínez, S. M. (2021). Diversidad de árboles en cuatro etapas de sucesión ecológica del bosque tropical montano nuboso del altiplano occidental de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 8(1), 24-42. doi:<https://doi.org/10.36829/63CTS.v8i1.853>
- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de los Bosques y Uso de la Tierra. (2018). *Dinámica de la cobertura forestal 2010-2016*. Guatemala: Autor.
- Habrouk, A. (2001). *Regeneración natural y restauración de la zona afectada por el gran incendio del Bages y Bergeda de 1994*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona, Facultat de Ciències, Departament de Biologia animal, Vegetal i Ecologia.
- Harrison, S., & De Ridder, B. (2021). La importancia de los enfoques holísticos para ampliar la restauración. *Unasylva: Restaurar la tierra-El próximo decenio*, 71(252), 41-46.
- Huston, M. (1998). *Biological Diversity*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Hutchinson, I. (1993). *Puntos de Partida y Muestreo Diagnóstico para la Silvicultura de Bosques Naturales del Trópico Húmedo*. (R. Luján, Trad.) Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- INAB-CONAP. (2015). *Mapa Forestal por Tipo y Subtipo de Bosque, 2012*. Guatemala: Autor.

- INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. (2017). *Conceptos generales de restaruación del paisaje forestal: guía para su implementación en Guatemala*. Guatemala: Serie técnica DT-012 (2017).
- Instituto Nacional de Bosques. (2014). *Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies forestales en plantaciones en Guatemala [Serie Técnica N° DT-002 (2015)]*. Guatemala: Autor.
- Instituto Nacional de Bosques. (2015). *Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso eficiente de Leña 2013-2014*. Guatemala: Autor.
- Instituto Nacional de Bosques. (2019). *Paquete tecnológico Forestal para Pino Candelillo Pinus maximinoi H.E: Moore versión 1.0 [Seire Técnica DT-033-2019]*. Guatemala: Departamento de Investigación Forestal.
- Iturre, M., & Araujo, P. (2006). *Crecimiento y producción del rodal regular [Serie didáctica N°23]*. Santiago del Estero, : Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales.
- Jacob, S. (2015). *Principios y métodos de la restaruación forestal pasiva: regeneración natural y asistida*. Panamá.: S. E.
- Jolom Morales, M. R. (2005). *Proyecto "Recopilación de información sobre biodiversidad en Guatemala" Ref. GUA/05/010-44272*. Nueva Guatemala de la Asunción: INBio, Norwegian Ministry of Foreigner Affairs, CONAP.
- Juárez García, A. (2017). *Influencia de la morfología de árboles dispersos en potreros sobre la regeneración vegetal bajo su copa*. Villahermosa: El Colegio de la Frontera Sur.
- Kappelle, M. (2004). *Diccionario de la Biodiversidad*. Santo Domingo de Heredia: Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) & Cooperación Española (AECI).
- Kimmins, J. (1997). *Forest ecology: A foundation for sustainable management*. New Jersey: Prentice Hall.
- Klepac, D. (1983). *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales*. Chapingo: Universidad Autonoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques.
- Luken, J. (1990). Successional management: an introduction & obtaining information on succession. En *In Directing Ecological Succession* (págs. 1-8). USA: Springer Science & Business Media.
- Magdaleno Mas, F. (2011). La restauración del bosque de ribera. En O. Vargas Ríos, & S. Reyes B., *La Restauración Ecológica en la práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica* (págs. 131-141). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología.
- Méndez, C. (2008). Diversidad faunística de Guatemala. En Consejo Nacional de Areas Protegidas, *Guatemala y su biodiversidad: un enfoque histórico, cultural, biológico y económico* (págs. 231-259). Guatemala: Autor.
- Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. (2015). *Estrategia de Restauración del Paisaje Forestal: Mecanismo para el Desarrollo Rural Sostenible de Guatemala*. Guatemala: Autor.
- Möller, P. (2011). Las franjas de vegetación ribereña y su función de amortiguamiento, una consideración importante para la conservación de humedales. *Gestión Ambiental*, 21, 96-106.
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma: Autor.
- Papa Vettorazzi, M. (2013). *Caracterización de hogos hectomicorrícicos asociados a pino (Pinus sp.) y encino (Quercus sp.) en la "Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux"*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad.
- Perú, Ministerio de Ambiente, Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, Dirección General de Diversidad Biológica. (2019). *Línea de base de especies forestales (Pinus sp. y Eucalyptus sp.) con fines de bioseguridad*. Lima: Autor.
- Quezada Monge, R. (2007). Manual para promover la regeneración natural en pastos degradados en el Pacífico Central y Norte de Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*, 4(11-12 especial), 1-63.
- Quintana Ascencio, P., & González Espinosa, M. (1993). Afinidad fitogeográfica y el papel sucesional de la flora leñosa de los bosques de pino-encino de los Altos de Chiapas. *Acta Botánica Mexicana*, 21, 43-53.
- Ramírez-Albores, J. (2010). Diversidad de aves de hábitats naturales y modificados en un paisaje de la Depresión Central de Chiapas, México. *Revista Biología Tropical*, 58(1), 511-528.
- Ramírez-Bautista, A., & Pineda-López, R. (2018). *Ecología y Conservación de Fauna en Ambientes Antropizados*. Queretaro: Red Temática Biología, Manejo y Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Queretaro.
- Ramírez-Soto, A., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I., Gutierrez-Sosa, G., Contreras-Huerta, I., . . . Hernández-Soto, M. (2021). *Guía técnica para la restauración riparia*. Veracruz: Red de viveros de Biodiversidad, Cyti Adapt y Fondo Golfo de México.
- Rodas, M. (21 de septiembre de 2022). Regeneración de pinos en sitios degradados. (S. Godínez, Entrevistador)
- Salas Correa, A., & Mancera-Rodríguez, N. (2020). Aves como indicadores ecológicas de etapas de sucesionales en un bosque secundario, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 23-39.
- Schuster, J. (2019). Las colecciones de insectos contribuyen a su conservación, no a su extinción. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático-Yu'am*, 3(5), 71-74.
- Schuster, J., & Bonis, S. (2008). Biodiversidad de Guatemala en relación con su historia geológica y biogeográfica. En Consejo Nacional de Areas Protegidas, *Guatemala y su biodiversidad: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico* (págs. 21-53). Guatemala: Consejo Nacional de Areas Protegidas, Oficina Técnica de Biodiversidad.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. (2004). *Principios de SER International sobre restauración ecológica*. Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Standley, P., & Steyermark, J. (1947/1977). *Flora of Guatemala (Fieldiana Botany, v. 24)*. Field Museum of Natural History.
- UICN y WRI. (2014). *Guía sobre la Metodología de evaluación de oportunidades de Restauración (ROAM): Evaluación de las oportunidades de restauración del paisaje forestal a nivel de evaluación nacional y subnacional*. Gland, Suiza: S.E.
- USAID. (2013). *Elaboración de planes de restauración pasiva para la región amazónica programa socio bosque*. (G. Mosquera, F. Bajaña, M. Castillo, & M. A. Almeida, Edits.) Ecuador.
- Vargas, O. (2007). *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Restauración Ecológica.



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques. Más vida

Manual técnico de campo
para promover la **Restauración de
Tierras Forestales Degradadas del
Bosque de Coníferas** de Guatemala

