



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

## **ANÁLISIS DEL MANEJO FORESTAL ADAPTATIVO EN MÉXICO, COMO UNA ESTRATEGIA PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

**JOSÉ JESÚS RANGEL PIÑÓN**

TESINA

PRESENTADA COMO REQUISITO

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN  
MANEJO SUSTENTABLE DE BOSQUES**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

**2019**

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe José Jesús Rangel Piñón, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Valentín José Reyes Hernández, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis ANÁLISIS DEL MANEJO FORESTAL ADAPTATIVO EN MÉXICO, COMO UNA ESTRATEGIA PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 25 de noviembre de 2019

Firma del  
Alumno (a)

Dr. Valentín José Reyes Hernández  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente Tesina titulada “Análisis del manejo forestal adaptativo en México, como una estrategia para mitigar los efectos del Cambio Climático”, elaborada por el alumno José Jesús Rangel Piñón, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**Maestría Tecnológica en Manejo Sustentable de Bosques**  
**CONSEJO PARTICULAR**



**CONSEJERO:** Dr. Valentín José Reyes Hernández



**VOCAL:** Dr. Alejandro Velázquez Martínez



**VOCAL:** Dra. Patricia Hernández de la Rosa

Montecillo, Texcoco, Estado de México. Noviembre de 2019.

# **ANÁLISIS DEL MANEJO FORESTAL ADAPTATIVO EN MÉXICO, COMO UNA ESTRATEGIA PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

**José Jesús Rangel Piñón, M. T**  
**Colegio de Postgraduados, 2019**

## **RESUMEN**

El cambio climático plantea importantes retos para el país durante el presente siglo; previsiblemente, durante las próximas décadas algunas regiones enfrentarán cambios en el clima que podrían comprometer significativamente sus ecosistemas y biodiversidad.

El manejo forestal contribuye a la adaptación al cambio climático, ya que reduce el riesgo de inundaciones y deslaves provocados por eventos climáticos extremos y mejora la infiltración de las áreas con cobertura forestal.

La adaptación de las especies, puede reducir las vulnerabilidades y los riesgos asociados con el cambio climático, sin embargo, la adaptación de los bosques requiere fortalecer la silvicultura actual con una nueva visión del manejo forestal basado en ecosistemas forestales, para la toma de decisiones. Por lo tanto, se necesitan herramientas más avanzadas, mecanismos para compartir el conocimiento sobre los impactos y la adaptación, y la promoción de la comunicación, la educación y el intercambio de conocimientos en manejo forestal.

En el presente trabajo se realiza una investigación documental de acciones de manejo forestal que se pueden considerar como herramientas de mitigación o adaptación ante los problemas que ocasiona el cambio climático global, revisando además algunos ejemplos que diferentes instituciones como la FAO o diferentes actores a lo largo del tiempo han estudiado en el marco del concepto de manejo adaptativo.

Por lo anterior, este análisis de información muestra diferentes enfoques de cómo promover el Manejo forestal adaptativo y utiliza una visión holística ante los nuevos enfoques de la importancia de los bosques pasando de ser proveedores de bienes a ser proveedores de servicios ecosistémicos y su balance.

**Palabras clave:** Resiliencia, Manejo Forestal Adaptativo, Cambio Climático, Manejo de Paisajes.

# **ANALYSIS OF ADAPTIVE FOREST MANAGEMENT IN MEXICO AS A STRATEGY TO MITIGATE THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE**

**José Jesús Rangel Piñón, M.T.  
Colegio de Postgraduados, 2019**

## **ABSTRACT**

Climate change represents important challenges for the country during this century; it is anticipated, that during the next decades some regions will face changes in climate that could significantly compromise their ecosystems and biodiversity.

Forest management might contribute to climate change adaptation, for example, by reducing the risk of floods and landslides caused by extreme climatic events, and by improving the infiltration of areas with forest cover, among others.

The adaptation of species can also help to reduce the vulnerabilities and risks associated with climate change; however, the adaptation of forests requires a new vision of forest management based on ecosystems, for decision-making. Consequently, more advanced tools are needed, as well as mechanisms to share knowledge about impacts and adaptation, and promotion of communication, education and the exchange of knowledge in forest management.

In this paper, a documentary investigation of forest management actions is carried out that can be considered as mitigation or adaptation tools to the problems caused by global climate change, also reviewing some examples that different institutions such as FAO or different actors throughout of time they have studied within the framework of the concept of adaptive management.

Therefore, this information analysis shows different approaches to how to promote adaptive forest management and uses a holistic view of new approaches to the importance of forests, from being providers of goods to being providers of ecosystem services and their balance.

**Keywords:** Resilience, Adaptive Forest Management, Climate Change, Landscape Management.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Ma. Consuelo (†) y José Jesús, por darme la vida y la oportunidad de formarme como profesionista.

A mi familia: a mi esposa Eliz, y mis hijos Melissa, Jesús y Sofía, por ser mi motor de superación personal y profesional; además de apoyarme con su tiempo, comprensión y palabras de aliento para culminar la maestría.

¡Con mucho cariño para cada uno de ustedes!

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados, por brindar la oportunidad de actualización a través de la Maestría Tecnológica, una opción accesible para muchos profesionistas que como yo, necesitamos continuar con nuestra vida laboral al mismo tiempo que buscamos actualizarnos.

Al Dr. Valentín por su amistad y apoyo en el proceso de elaboración de la tesina, ya que su orientación y consejos me ayudaron a dar forma a un tema muy interesante para el futuro de los bosques.

Al Dr. Alejandro Velázquez, por la confianza para cursar el programa de maestría y por su amistad como la gran persona que es.

A la Dra. Patricia Hernández, por sus consejos, recomendaciones y orientación en la redacción del documento.

A cada uno de los profesores del programa de Maestría Tecnológica, ya que sus recomendaciones y orientación me brindaron las herramientas para contribuir de mejor manera al desarrollo de productores forestales del país.

## CONTENIDO

Pág.

<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>xi</b>
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO 2. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPITULO 3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
3.1. Situación de los Bosques de México y el Mundo.....	4
3.2. El manejo forestal en México.....	6
3.3. Métodos de Manejo Forestal con mayor aplicación en bosques de clima templado frío en México.....	7
3.3.1. Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI).....	8
3.3.2. Método de Desarrollo Silvícola (MDS).....	9
3.4. Aspectos Normativos generales en materia forestal.....	11
3.5. El Manejo Forestal y el Cambio Climático en México.....	11
3.6. Impactos Potenciales del cambio climático en los ecosistemas forestales.....	12
3.7. Acciones y estrategias que pueden ser adoptadas para mitigar impactos.....	13
3.8. Bases del Manejo Adaptativo.....	15
<b>CAPITULO 4. NUEVOS ENFOQUES DEL MANEJO FORESTAL</b> .....	<b>18</b>
4.1 Manejo de la densidad.....	18
4.2 Manejo de la Composición.....	20
4.2.1 Restauración de especies.....	21
4.2.2 Favorecimiento de especies y genotipos adaptables.....	24
4.2.3 Incorporación de especies y genotipos.....	26
4.2.4 Migración Asistida.....	27
4.3 Reducción de riesgos.....	30
4.4 Silvicultura adaptativa para el cambio climático.....	32
4.5 El Manejo Forestal Adaptativo.....	33
4.6 Enfoques de paisaje.....	33
4.7 Alianzas y enfoques participativos.....	34
<b>CAPITULO 5. ESTUDIOS DE CASO EN MÉXICO</b> .....	<b>36</b>
5.1. Manejo de Paisaje en Mascota Jalisco.....	36

5.2. Reserva Multifuncional “El Manantial” Aquixtla, Puebla .....	40
5.3. Iniciativa 20X20 .....	43
<b>CAPITULO 6. PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>45</b>
<b>CAPITULO 7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>CAPITULO 8. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE FIGURAS

		Pág
<b>Figura 1</b>	Superficie Forestal Mundial: Porcentaje de la superficie de los países ocupada por bosques	4
<b>Figura 2</b>	Superficie Forestal en México: Bosques, Selvas y Vegetación Secundaria.	6
<b>Figura 3</b>	Superficie Bajo manejo forestal en México, predios con Programa de Manejo Forestal	7
<b>Figura 4</b>	Curva de Liocourt para una estructura normal de un rodal incoetáneo	9
<b>Figura 5</b>	Esquema general del Método de Desarrollo Silvícola	10
<b>Figura 6</b>	Esquema general para identificar la interacción de los límites ecológicos y económicos en el manejo adaptativo	16
<b>Figura 7</b>	Modelos de los mecanismos que producen la secuencia de las especies en la sucesión ecológica	23
<b>Figura 8</b>	Incremento de la temperatura media anual (Grados Celsius), en comparación con el clima contemporáneo (1961-1990) de 3,700 estaciones meteorológicas	28
<b>Figura 9</b>	Beneficios del Manejo Forestal en relación a la captura y almacenamiento de Carbono	31
<b>Figura 10</b>	Etapas sucesionales del Manejo del Paisaje descritas por Oliver y Larson (1990) y utilizadas en el Método de Manejo de Paisaje.	39
<b>Figura 11</b>	Ubicación del Conjunto Predial Reserva Forestal Multifuncional “El Manantial”	41

## LISTA DE CUADROS

		Pág.
<b>Cuadro 1</b>	Países con mayor superficie de bosques a nivel mundial, porcentaje de superficie de bosques con respecto a la superficie forestal mundial.	5
<b>Cuadro 2</b>	Acciones sugeridas por Thompson para mantener y mejorar la resiliencia en los bosques	25
<b>Cuadro 3</b>	Síntesis de algunos de los principales argumentos a favor y en contra de la migración asistida	29

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El manejo forestal realizado de manera sustentable, puede ayudar a asegurar la permanencia de los ecosistemas forestales y mejorar sus funciones medioambientales, socioculturales y económicas, así como también puede aumentar al máximo la contribución de los mismos a la mitigación del cambio climático, y ayudar a los bosques y a las poblaciones que dependen de ellos a adaptarse a las nuevas condiciones originadas por este fenómeno (FAO, 2010; Edwards & Hirsch 2012).

A nivel mundial, el cambio climático está afectando a muchos ecosistemas naturales desde diversas perspectivas (Sousa, *et. al.* 2018). Los incrementos en la temperatura, los cambios en los patrones de precipitación, los eventos extremos con mayor frecuencia, como son las inundaciones y las sequías, son ejemplos documentados; sin embargo, los efectos del incremento de temperaturas podrían ser mucho más severos que los pronosticados (IPCC, 2018). La mitigación de estos impactos se define como la “aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes, o mejorar los sumideros de gases y compuestos de efecto invernadero”, o bien como la “intervención humana para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero”, mientras que la adaptación se define como “*aquellas medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos benéficos*” (IPCC, 2013).

Holling en 1973, introdujo por primera vez la definición de resiliencia en ecología con el fin de contribuir a comprender la dinámica observada en el ecosistema, y la definió como la capacidad de un ecosistema para volver a su estado original después de una perturbación, manteniendo sus características esenciales, composición taxonómica, estructuras, funciones y procesos (Holling, 1973; Thompson, 2011; Yan *et al.*, 2011; Mora y Alanís, 2016). De la misma forma, Walker & Salt (2006), definieron a la resiliencia como la capacidad de un sistema para absorber la perturbación y retener sus funciones y estructura básicas y, por lo tanto, su identidad.

En este sentido, una característica importante de los ecosistemas forestales es su resiliencia (Thompson 2011; Mora y Alanís, 2016). Si los ecosistemas se modifican, es necesario entender y dar respuesta a las modificaciones ocurridas, recurriendo a medidas específicas que permitan la adaptación del bosque al cambio climático, resaltando que un mecanismo, tanto para mitigar los efectos climáticos, como para adaptar el bosque a cambios del clima, puede ser el mantenimiento

de la resiliencia en ecosistemas forestales (Thompson, 2011). Braatz (2012), menciona que mejorar la resiliencia en los bosques incluye ajustar las prácticas de manejo forestal a nivel de bosque y árbol, así como aumentar la resiliencia de las personas y ayudar a construir y mantener paisajes resilientes.

Con base en lo anterior, en este documento, se analiza información disponible sobre las estrategias en operación así como los nuevos enfoques del manejo forestal adaptativo, para la mitigación y adaptación (mantenimiento y/o mejora de la resiliencia) de los bosques, hacia los efectos del cambio climático tanto en su estructura como en sus funciones, enfocando la revisión principalmente en las prácticas silvícolas recomendadas.

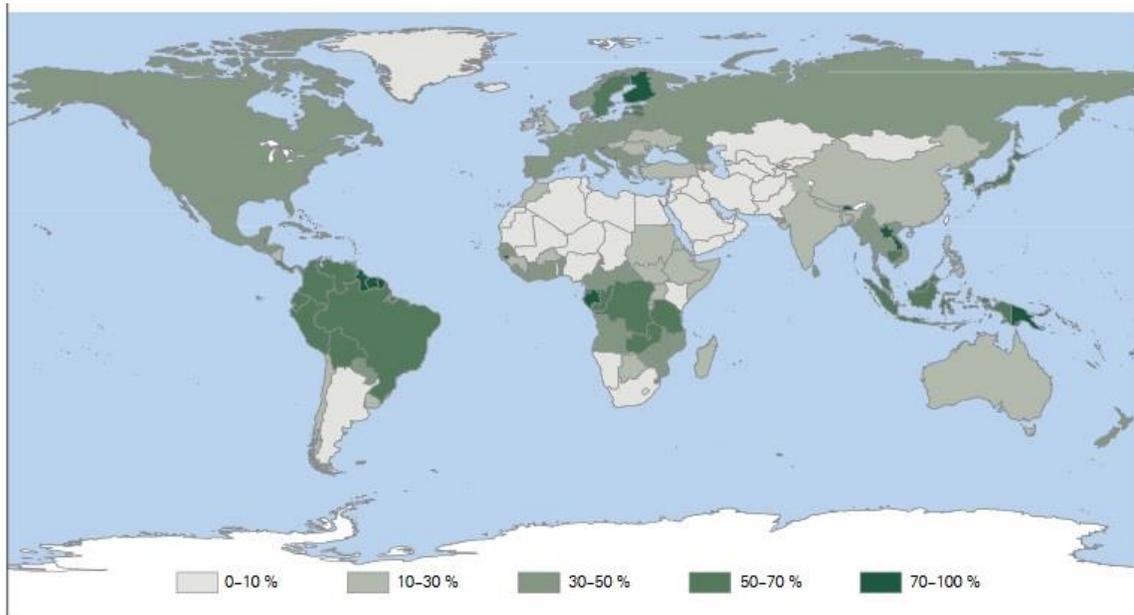
## **CAPITULO 2. OBJETIVO GENERAL**

Analizar y documentar información sobre las estrategias y acciones del manejo forestal adaptativo en México como una herramienta para mitigar los efectos del cambio climático en ecosistemas forestales.

## CAPITULO 3. ANTECEDENTES

### 3.1. Situación de los Bosques de México y el Mundo

La superficie forestal mundial aproximada en 2015 era de 3, 999 millones de hectáreas; el 93% corresponde a bosque natural (*i.e.* 3 700 millones de ha (Figura 1), en diez países se concentra el 67% de los bosques (Cuadro 1). La superficie de bosque bajo manejo forestal en el mundo tiene una tendencia a incrementar con más de la mitad de la superficie forestal total, y se reparte en porciones similares entre las finalidades de producción y de conservación. El área de bosque bajo un sistema internacional de certificación de manejo forestal aumentó de 14 millones de ha en 2000 a 438 millones de ha en 2014 (FAO, 2016).



**Figura 1.** Superficie Forestal Mundial: Porcentaje de la superficie de los países ocupada por bosques. Fuente: FAO, 2016.

**Cuadro 1:** Países con mayor superficie de bosques a nivel mundial, porcentaje de superficie de bosques con respecto a la superficie forestal mundial. Fuente: FAO 2016

	<b>País</b>	<b>Área de Bosques (Miles ha)</b>	<b>% del área de bosque mundial</b>
<b>1</b>	Federación Rusa	814,931	20
<b>2</b>	Brasil	493,538	12
<b>3</b>	Canadá	347,069	9
<b>4</b>	Estados Unidos de América	310,095	8
<b>5</b>	China	208,321	5
<b>6</b>	República Democrática del Congo	152,578	4
<b>7</b>	Australia	124,751	3
<b>8</b>	Indonesia	91,010	2
<b>9</b>	Perú	73,973	2
<b>10</b>	India	70,682	2
	<b>Total</b>	<b>2'686,948</b>	<b>67</b>

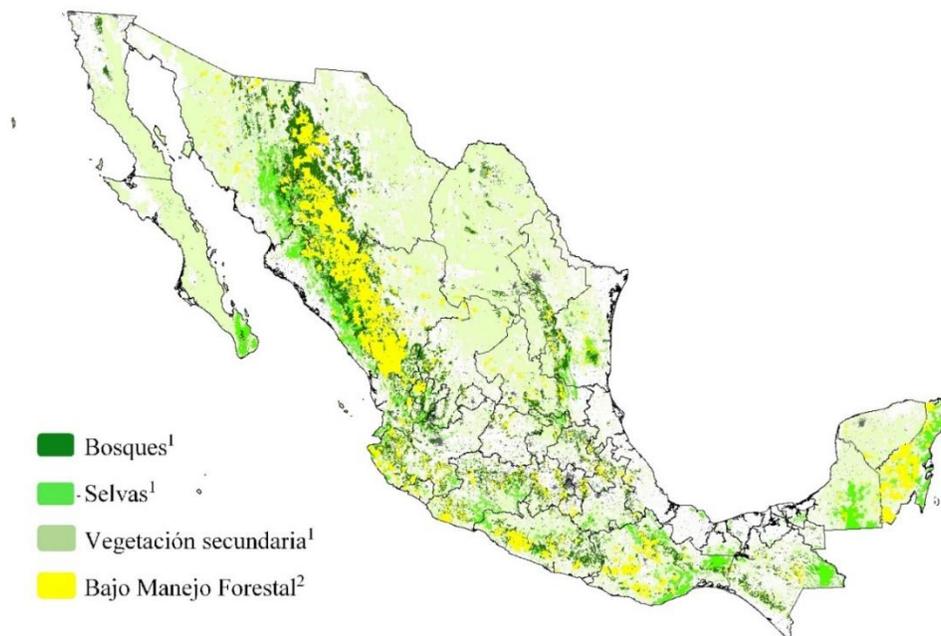
México cuenta con 138 millones de hectáreas con vegetación forestal, equivalentes al 70% del territorio nacional (CONAFOR, 2014). Los principales ecosistemas que componen esta superficie son matorrales xerófilos (41.2%), bosques templados (24.24%), selvas (21.7%), manglares y otros tipos de asociaciones de vegetación forestal (1.06%) y otras áreas forestales (11.8%) (Figura 2), con esta cantidad de bosques ocupa el 12° lugar a nivel mundial.



**Figura 2:** Superficie Forestal en México: Bosques, Selvas y Vegetación Secundaria. Elaboración propia con base en información del INEGI (2016).

### 3.2. El manejo forestal en México

En México, existen 7.4 millones de ha incorporadas al manejo forestal (Figura 3), de donde se obtiene la producción forestal maderable del país (CONAFOR, 2014), la cual fue de 9.01 millones de metros cúbicos de madera en rollo ( $m^3r$ ) durante 2017. De la superficie bajo aprovechamiento, a octubre de 2018 se contaba con 2.75 millones de hectáreas con certificado de aprovechamiento sustentable expedido por organismos nacionales con criterios de la Norma Mexicana NMX-143, y organismos internacionales con criterios del Consejo de Manejo Forestal (FSC, por sus siglas en inglés) (SEMARNAT, 2018b).



**Figura 3.-** Superficie Bajo manejo forestal en México, predios con Programa de Manejo Forestal. Elaboración propia con base en datos de INEGI (2016) <sup>1</sup> y CONAFOR (2018) <sup>2</sup>.

### **3.3. Métodos de Manejo Forestal con mayor aplicación en bosques de clima templado frío en México**

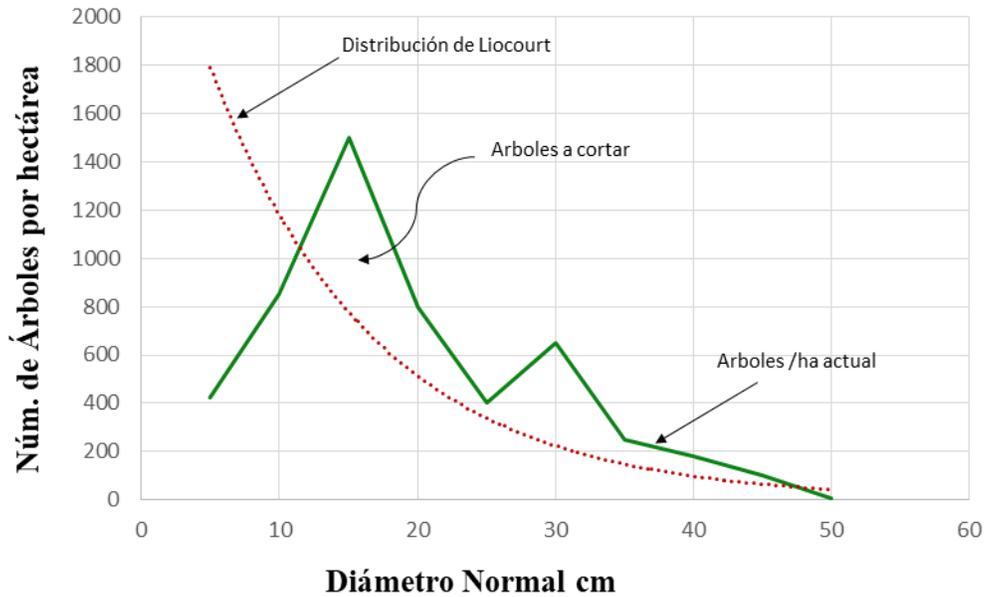
El manejo forestal sustentable se concibe como un sistema de toma de decisiones multi-objetivo que atiende los factores ecológico, económico y social (Aguirre, 2015); de acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2018), el manejo forestal en México se define como *“El proceso que comprende el conjunto de acciones y procedimientos que tienen por objeto la ordenación, el cultivo, la protección, la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los recursos y servicios ambientales de un ecosistema forestal, considerando los principios ecológicos, respetando la integralidad funcional e interdependencia de recursos y sin que disminuya o ponga en riesgo la capacidad productiva de los ecosistemas y recursos existentes en la misma”* (Secretaría de Gobernación, 2018).

Conforme a la normatividad vigente en el país, el aprovechamiento forestal sustentable se basa en un programa de manejo forestal, elaborado por un profesionalista forestal registrado, con base en los principios de ordenación que establecen los diferentes métodos de manejo forestal, y autorizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Secretaría de Gobernación, 2018). Por lo anterior, se presenta una descripción general de los métodos de manejo de mayor uso en el país para el aprovechamiento de los bosques en clima templado frío.

### 3.3.1. Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI)

El MMOBI se caracteriza por establecer como meta del arbolado residual, una estructura de diámetros con distribución tipo “curva de Liocourt”; actualmente, el MMOBI se utiliza en más de la mitad de la superficie bajo manejo en el país, lo cual resalta su importancia en el manejo actual de los bosques de México (Ramírez, 2017).

El MMOBI se utiliza en áreas donde la topografía y la presencia de áreas de protección ecológica especiales (áreas protegidas), son limitantes para la utilización de técnicas intensivas. Utiliza el método de regeneración de selección, mediante el cual se cortan árboles de distintas edades y alturas, se da prioridad de corte a los árboles viejos, deformes, plagados o con cualquier otra característica no deseable, con el fin de ir dejando el arbolado de mejores condiciones que permitan aumentar la calidad del bosque ordenado a la vez que se obtienen beneficio para los dueños. Se extraen árboles maduros, que proporcionan la mayoría de los productos comerciales, con el fin de reducir competencia y propiciar condiciones de establecimiento de la regeneración y el desarrollo de los árboles jóvenes con posibilidades de llegar a una corta final. Utiliza la estructura “Meta Normal” (de Liocourt) para definir el arbolado a extraer, con base en la distribución de frecuencias de categorías diamétricas que conduzca o mantenga esa estructura meta (Figura 4).

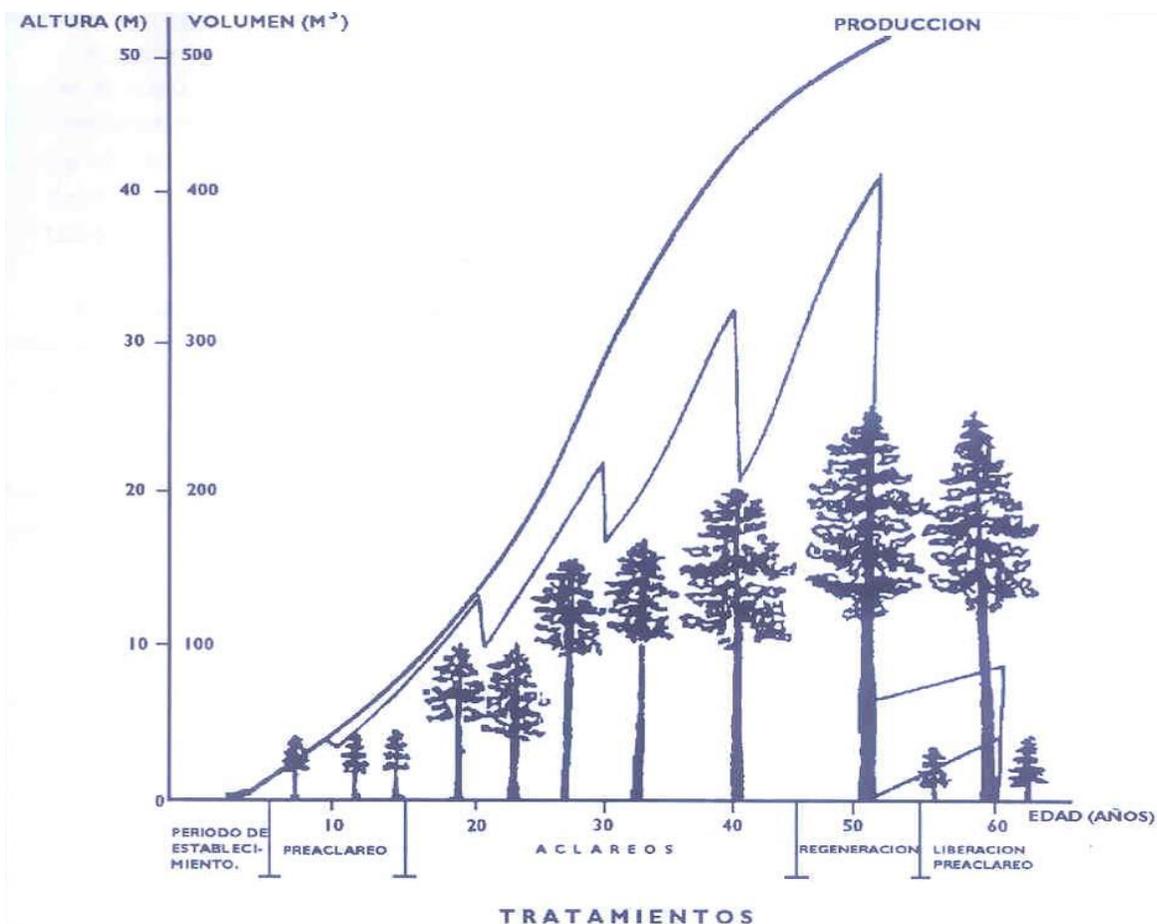


**Figura 4.** Curva de Liocourt para una estructura normal de un rodal incoetáneo. Fuente: Ramírez (2017).

Para aplicar este método, se requiere realizar un inventario forestal para obtener las variables básicas para estimar las existencias reales e incrementos por especie, y después se estima al volumen de aprovechamiento en un ciclo de corta. Además, es necesario conocer la estructura diamétrica por unidad de manejo, incluyendo la dominancia y salud de los árboles. Se aplica el método de extracción con base en una selección individual o en grupos, de acuerdo a las características actuales del bosque y de la meta de regulación.

### 3.3.2. Método de Desarrollo Silvícola (MDS)

Este método representa una alternativa para planear el aprovechamiento de los bosques de clima templado frío; se desarrolló por ingenieros Mexicanos con la asesoría técnica de expertos Finlandeses e integra los modelos teóricos del método con la aplicación práctica en diferentes predios en el país. El MDS tiene como objetivo conformar bosques regulares a través de la aplicación de una secuencia de tratamientos (Figura 5).



**Figura 5.** Esquema general del Método de Desarrollo Silvícola (Fuente: Hernández, 2014).

El ciclo se ilustra con la corta de regeneración, dejando árboles padre o semilleros para regenerar la nueva masa. En la siguiente corta se retiran los árboles semilleros para liberar espacio a los brinzales establecidos a través de una corta de liberación. Los aclareos tienen el objetivo de conducir a los árboles meta hacia el objetivo de manejo definido (maximizar la producción de madera), generalmente se retiran árboles indeseables, aunque en ocasiones se consideran arboles con características de mercado, en ambos casos se distribuye el espacio de crecimiento.

El MDS tiene como objetivo captar el máximo potencial productivo del suelo, mediante el uso de técnicas silvícolas adecuadas y lograr un rendimiento sostenido (en volumen y en productos) por medio del concepto de bosque normal regular (López *et al.*, 2017).

### **3.4. Aspectos Normativos generales en materia forestal**

En México, se requiere autorización de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en terrenos forestales, la cual se otorga con base en un Programa de Manejo Forestal, elaborado por una persona física o moral reconocida como prestador de servicios forestales (Secretaría de Gobernación, 2018).

En junio de 2018, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) fue sujeta de actualizaciones; el objeto de la LGDFS es regular y fomentar el manejo integral y sustentable de los territorios forestales, la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, cultivo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos (Secretaría de Gobernación, 2018). La actualización de dicha ley, aborda los temas de adaptación y mitigación del cambio climático, vinculando los lineamientos y objetivos de la Ley General de Cambio Climático (SEMARNAT, 2018).

### **3.5. El Manejo Forestal y el Cambio Climático en México**

Uno de los problemas ambientales al que se enfrenta la humanidad en el presente siglo es el cambio climático, el cual se debe al incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono, clorofluorocarbonados, óxidos de nitrógeno y metano; dichas emisiones se derivan principalmente de actividades ligadas al uso de combustibles fósiles para la producción de energía y transporte, el cambio en el uso de suelo, deforestación, incendios forestales y producción de cemento, entre otras (Ordoñez, 2008).

Los bosques pueden contribuir a atenuar los impactos del cambio climático, coadyuvando a aumentar la resiliencia de la sociedad, además de generar múltiples beneficios. Por otro lado, la conservación de los ecosistemas forestales también contribuye a la preservación de la biodiversidad y de la conectividad ecológica a nivel de paisaje, lo que permitirá la migración de especies como respuesta adaptativa al cambio climático (SEMARNAT, 2010).

La SEMARNAT (2018) señala, en la Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), que el tema de adaptación al cambio

climático ha mostrado una evolución constante que permite apreciar la forma en que se establecen los mecanismos de actuación, mismos que ya no se limitan a centrar la atención en la agenda de mitigación, sino que reconocen la necesidad de hacer frente a los efectos del cambio climático mediante iniciativas y acciones para facilitar procesos de adaptación al cambio climático. Las acciones de adaptación al cambio climático consisten en ajustes en los sistemas naturales o humanos en respuesta a los efectos reales o esperados del cambio climático, para evitar daños o para aprovechar oportunidades. Las acciones de mitigación del cambio climático son medidas para ayudar a estabilizar o reducir la concentración de GEI en la atmósfera, e incluyen medidas para reducir las emisiones de GEI de origen humano o para aumentar la absorción de GEI de la atmósfera (FAO, 2013).

### **3.6. Impactos Potenciales del cambio climático en los ecosistemas forestales**

Se prevé que el cambio climático tendrá impactos sobre la distribución de los tipos de bosques y especies arbóreas, la productividad de los bosques, las condiciones del suelo, la estructura de los rodales, y los cambios en los regímenes de alteraciones como la incidencia, gravedad e impacto de los incendios forestales, las especies invasoras, insectos, enfermedades, inundaciones, sequías, temperaturas extremas, deslizamientos de tierras y mareas a causa de tormentas (FAO, 2013). Algunos autores consideran que los principales efectos del cambio climático en los bosques serán la pérdida de biodiversidad, especiación, alteraciones fenológicas, disfuncionalidad de cuencas y mayor incidencia y severidad de incendios forestales (Mendizábal *et al.*, 2008).

Gutiérrez y Trejo (2014), señalan que *“particularmente, el efecto será más severo para las especies que se encuentren en ecosistemas geográficamente confinados, como las montañas, ya que serán más sensibles a los cambios en las condiciones climáticas”*. Según la SEMARNAT (2016), una señal de este fenómeno climático en México en las áreas forestales será la pérdida de bosques, ya que en los últimos años la disminución de vegetación se ha acelerado.

Si bien en México, la principal causa de la pérdida de los ecosistemas forestales es el cambio de uso de suelo para la agricultura y el desarrollo urbano, existen otras causas dentro de las cuales se incluyen la introducción de especies exóticas invasoras, la sobreexplotación de los recursos

naturales, la contaminación, y los efectos del cambio climático (SEMARNAT, 2016). En particular, se espera que por los efectos del cambio climático las especies forestales sufran estrés hídrico, además de que es posible que pueda presentarse mayor incidencia de plagas y enfermedades y disminución en la polinización, entre otros. Actualmente, los cambios más notables se observan en el norte del país, en donde la superficie cubierta por los bosques de coníferas se ha reducido, incrementándose así la probabilidad de ocurrencia de condiciones favorables para el establecimiento y desarrollo de la selva seca (SEMARNAT, 2016).

Por lo anterior, Halofsky *et. al.* (2018), señalan que en la próxima década el cambio climático se convertirá en un componente integral del manejo forestal sustentable.

### **3.7. Acciones y estrategias que pueden ser adoptadas para mitigar impactos**

Las estrategias de mitigación en el sector forestal se pueden agrupar en cuatro categorías principales (FAO, 2010):

- A. La reducción de las emisiones derivadas de la deforestación; establecer acciones para evitar la pérdida de cubierta forestal por las principales causas como el cambio de uso de suelo o la incidencia de incendios forestales.
- B. La reducción de las emisiones derivadas de la degradación forestal; promover la restauración y rehabilitación de ecosistemas forestales, para recuperar la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas que se han perdido.
- C. El fortalecimiento de los sumideros forestales de carbono; mediante la adopción y aplicación de prácticas sustentable de manejo es posible asegurar que los bosques sigan almacenando carbono, mientras mantienen su capacidad de proporcionar otros bienes y servicios en beneficio de las generaciones actuales y futuras.
- D. La sustitución de productos; la sustitución comprende el uso de madera en lugar de combustibles fósiles para la energía y el uso de fibra de madera en lugar de materiales como el cemento, el acero y el aluminio, que implican la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Las categorías enlistadas se han integrado en la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (ENA REDD+), la cual es un acumulado de líneas estratégicas que promueven, acciones de mitigación y adaptación al cambio climático de manera simultánea, a través de un manejo integral del territorio que propicie el desarrollo rural sustentable bajo en carbono y, por tanto, oriente hacia un desarrollo económico basado en la agenda ambiental, siendo su campo de aplicación los paisajes rurales con actividades forestales (CONAFOR, 2017).

A nivel internacional, REDD+ representa una oportunidad de consolidar y reforzar los esfuerzos para conservar y manejar los ecosistemas forestales de manera sustentable y así asegurar la preservación de su biodiversidad y los servicios ambientales que ofrecen (CONAFOR, 2017).

Algunos de los trabajos “piloto”, reportados en México para acciones de mitigación son el proyecto de “Adaptación en humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático” y el “Proyecto piloto de cosecha de agua de lluvia como medida de adaptación al cambio climático en la comunidad de El Gato en el municipio Doctor Mora, estado de Guanajuato”; dichos trabajos los reporta la SEMARNAT (2018) en la sexta comunicación ante la Convención Marco para la Naciones Unidas para el Cambio Climático, para mostrar las lecciones aprendidas durante su ejecución; en particular, se destacan los mecanismos de participación y de acción corresponsable que se promovieron estos proyectos para involucrar a la población local y actores clave, los representantes de las organizaciones de la sociedad civil, de la academia y de los tres órdenes de gobierno.

También, se presentan otros proyectos como el de “Conservación de Cuencas Costeras en el Contexto de Cambio Climático (C6)”, en el que se consideraron, las cuencas hidrográficas como unidades de manejo y gestión, y se desarrollaron metodologías y estrategias de participación social con enfoque de género y con materiales traducidos en las lenguas indígenas de las regiones (SEMARNAT 2018).

Por otro lado, las medidas para garantizar la adaptación de los bosques son compatibles y a menudo idénticas a las prácticas de manejo forestal sustentable establecidas para satisfacer las necesidades económicas, sociales y ambientales de la sociedad (FAO, 2013). En el sector forestal, la adaptación abarca los cambios en las prácticas de manejo proyectadas para disminuir la vulnerabilidad de los

bosques ante el cambio climático y las intervenciones destinadas a reducir la vulnerabilidad de las personas frente a dicho cambio (FAO, 2013).

### 3.8. Bases del Manejo Adaptativo

Walters (1986), señala que el desarrollo de la ciencia de los recursos naturales ha tenido defectos graves que limitan su desarrollo, principalmente señala como defecto, el proceder para el desarrollo de conocimiento en un panorama de gran incertidumbre, escasos recursos para investigación y presión por el aprovechamiento de los recursos naturales. Señala, que lo anterior, implica buscar más allá de la investigación básica utilizando como una opción el manejo como un proceso de aprendizaje adaptativo, donde las propias actividades de manejo se consideran herramientas para la experimentación.

El enfoque de “Manejo adaptativo” comienza con el principio de que el Manejo implica un proceso de aprendizaje continuo que no puede separarse por componentes (investigación y actividades en curso) y que probablemente nunca encuentre un estado de equilibrio (conocimiento pleno y productividad óptima) (Walters, 1986).

Los aspectos básicos del Manejo Adaptativo de acuerdo a Walters, (1986) son:

- a) Determinación de los problemas considerando objetivos, restricciones y factores considerados en el análisis de políticas;
- b) Creación de modelos explícitos de comportamiento dinámico del sistema manejado, para que los errores puedan ser detectados y utilizados como base para un mayor aprendizaje;
- c) Representación de la incertidumbre y su incidencia de acuerdo a las acciones de manejo, utilizando medidas estadísticas e hipótesis (modelos) que puedan brindar opciones para mejorar la productividad;
- d) Diseño de políticas que brinden una producción sostenida de recursos mientras que sondean simultáneamente para una mejor comprensión y una oportunidad no probada.



Los procesos normativos en México, con respecto al manejo forestal adaptativo, consideran un ritmo lento de incorporación de los nuevos enfoques del manejo forestal ante el cambio climático; así, aunque la nueva Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), incluye temas explícitos sobre el cambio climático, conservación de la biodiversidad y multifuncionalidad ecosistémica de los bosques, la normatividad reglamentaria existente, tal como la NOM 152 (SEMARNAT, 2010), aún no considera los escenarios cambiantes de condiciones climáticas como una variable, por ejemplo, para la prescripción de tratamientos silvícolas en el plan de manejo (SEMARNAT, 2018).

## **CAPITULO 4. NUEVOS ENFOQUES DEL MANEJO FORESTAL**

El manejo forestal es una actividad de largo plazo, lo que da como resultado que sus productos estén sujetos a riesgos potenciales por las condiciones ambientales, así como por la propia influencia de la mano del hombre. Lo anterior representa un reto, ya que el desarrollo de programas de manejo forestal, se tiene que integrar estas incertidumbres, las cuales pueden ser numerosas para planes de acción que comprenden grandes superficies y periodos largos (Aguirre, 2015).

Por otro lado, aunque existen muchas definiciones de “resiliencia”, la resiliencia ecológica de un bosque hace énfasis en la persistencia, adaptabilidad, variabilidad e imprevisibilidad, reconoce que los ecosistemas están en un no-equilibrio y que los cambios en los procesos ecológicos en una escala pueden afectar a otros procesos a otras escalas de formas impredecibles. El concepto de resiliencia ecológica es altamente compatible con la ciencia de la complejidad (Puetman *et al.*, 2016).

Para vincular el manejo forestal sustentable con esquemas adaptativos, que tengan orientación con la mitigación o adaptación al cambio climático, se incluye un análisis sobre algunas acciones a promover, tales como:

- a) Manejo de la densidad,
- b) Manejo de la composición de especies (restauración de especies, favorecimiento de especies adaptables y genotipos, adición de especies y genotipos); y
- c) Reducción de riesgos.

### **4.1 Manejo de la densidad**

El estrés asociado a factores del clima, puede mitigarse por medio del control de la densidad del arbolado con base en rasgos ligados a la demanda de recursos del sitio, la cual ha demostrado ser una estrategia eficaz (Anderson y Palik, 2011). Así, el control de la densidad es efectiva para conseguir el equilibrio entre la disponibilidad y la demanda de recursos del sitio, y para modificar la composición y estructura de los rodales, y otras características microambientales que afectan los factores de estrés relacionados con el clima. Por ejemplo, la corta de árboles puede enfocarse en

la selección o reclutamiento de especies que proporcionen características de diversidad de adaptación (Anderson y Palik 2011).

También, las características del microambiente pueden modificarse debido a cambios estructurales del rodal, con injerencia directa en agentes bióticos y abióticos de perturbación. Por ejemplo, la disminución de la densidad arbórea y el mantenimiento de ésta por debajo de ciertos umbrales, puede favorecer una mayor velocidad del viento circulante en el dosel superior, lo que traería dificultades al vuelo de insectos descortezadores ((Whitehead *et al.*, 2003; Anderson y Palik, 2011). También, la disminución de la humedad relativa, por efecto de actividades de aprovechamientos maderable, crearía condiciones desfavorables para algunas especies de hongos dañinos, aunque podría favorecer la incidencia de otros patógenos (Jactel *et al.* 2009).

Con la eliminación de arbustos y otro tipo de vegetación del suelo, es posible que disminuya la demanda de recursos del sitio y se reduzca el riesgo de incendios severos al disminuir también la abundancia y profundidad de los combustibles (Anderson y Palik, 2011), teniendo las precauciones necesarias de los posibles efectos negativos como la pérdida del suelo por erosión, reducción de la diversidad biológica, entre otros. Una estrategia interesante puede ser unir la gestión de densidad con el control de la vegetación del sotobosque de manera tal que la ganancia en el equilibrio de humedad del sitio no se vea disminuida por el crecimiento del sotobosque (Kurpius *et al.*, 2003).

El manejo de densidad también puede disminuir de manera importante los riesgos de los árboles individuales y el vigor del rodal (Whitehead *et al.*, 2003; McDowell *et al.*, 2006). En México, existen diversos estudios específicos para el manejo de la densidad en bosques de clima templado frío, a través de la elaboración de guías o diagramas de densidad (Martínez *et al.*, 2015); estas guías son un instrumento eficaz y práctico en la planeación de los tratamientos silvícolas y permiten obtener la mayor productividad de los bosques (Hernández *et al.*, 2014).

El manejo de la densidad es una actividad básica en los métodos de manejo forestal aplicados en México, sin embargo, generalmente se realiza con base en las posibilidades de cosecha o las características del bosque por aprovechar dirigiendo hacia arboles de mayor valor, siendo que deben considerar la estructura diamétrica, composición de especies y las características del nuevo bosque, más aún ante los escenarios cambiantes del clima.

## 4.2 Manejo de la Composición

La biodiversidad contempla toda clase de variedad natural, diversidad de comunidades a nivel paisaje, entre comunidades y especies dentro de una misma comunidad; por lo que la diversidad de especies es un aspecto muy importante para el manejo forestal y la conservación (Del Río *et al.*, 2003). Una mezcla de especies en el dosel determina factores microambientales del sotobosque, tales como el régimen de luz y la composición de la materia orgánica, controlando así una gran cantidad de factores bióticos y abióticos. La estructura del bosque y su dinámica, están ligadas con su estabilidad ante factores bióticos y abióticos, por lo que evaluar esta variable es importante para el manejo del sistema y la generación de servicios directos e indirectos (Del Río *et al.*, 2003).

Las actividades de manejo y cambios en los regímenes naturales de las perturbaciones han sido un factor importante de cambio en la composición de las especies en los ecosistemas forestales (Anderson y Palik, 2011), lo que traído como consecuencia disminución en la riqueza o abundancia de especies anteriormente bien adaptadas a patrones históricos de disturbios, y también aumento en otras especies ahora mejor adaptadas a las nuevas condiciones. Los efectos del cambio climático son quizás aún menos palpables, y transcurrirán lustros antes de que lo sean. Por ahora, las comunidades vegetales mejor adaptadas a climas extremos estarán compuestas por especies y poblaciones originarias del sitio. Por otro lado, es quizás necesario poner en práctica actividades que favorezcan a la sucesión para restaurar la composición de ciertas comunidades, antes de que ocurran cambios mayores al clima, debido a la correspondencia entre las condiciones actuales del sitio y el potencial de las especies que se desea restaurar. La retención de ciertas especies durante la corta o en otras actividades de remoción de vegetación es una práctica que debería incluirse como parte de las actividades de restauración, además de remover especies invasoras o no nativas, competidoras e inhibidoras, o la repoblación activa por medio de plantaciones o reforestaciones (Anderson y Palik, 2011).

Los aspectos estructurales y biológicos son más fáciles de manejar directamente a través de tratamientos silvícolas para orientar hacia una complejidad funcional y adaptativa, incluidos en los objetivos de manejo plasmados en el programa de manejo forestal (Fahey *et al.*, 2017)

Como ejemplo, Pretzsch & Schütze (2014), reportan que el crecimiento de la haya (*Fagus sylvatica* L.) en diámetro y volumen promedio son significativamente más pequeños, cuando crecen en rodales mezclados con roble (*Quercus petraea* Matt) que en rodales puros. Por el contrario, el abeto noruego (*Picea abies* L.) y el roble (*Quercus petraea* Matt) tienen un 12-30% de ventaja en crecimiento de diámetro y volumen en los rodales mixtos que en rodales puros. Los mismos autores concluyen que se deben cubrir diferentes combinaciones de especies, niveles de densidad y condiciones del sitio para tener una comprensión más precisa de los efectos de la mezcla de especies en la dinámica de la estructura de tamaño, realizando un análisis de la distribución del diámetro por sus percentiles o por los parámetros de la distribución de Weibull (Bailey y Dell, 1973; Zutter *et al.*, 1986). Tanto los datos más amplios como la cuantificación más adecuada de la estructura por tamaño, pueden permitir una mejor comprensión del efecto de la mezcla de especies en la distribución de frecuencia a nivel de especie, su interacción y la distribución de frecuencia resultante en el nivel de sitio (Pretzsch & Schütze, 2014). En México, Vargas-Larreta *et al.* (2010), señalan que en la región de El Salto, Durango, la mezcla de especies de pino tuvo un efecto de hasta el 33% en el incremento en área basal para el caso de *Pinus leiophylla* Schil. & Cham.

Los programas de reforestación y restauración en México pueden ser un mecanismo adecuado para incidir sobre la composición futura de los bosques; además, la obligación de repoblar los bosques bajo aprovechamiento debe considerar la inclusión de especies o genotipos cada vez más resistentes a las condiciones climáticas futuras.

#### 4.2.1 Restauración de especies

La restauración de los bosques son tareas difíciles de largo plazo que requieren planificación, ejecución y seguimiento cuidadosos. El objetivo de la **restauración forestal** es devolver un bosque degradado a su estado original, esto es, restablecer la estructura, la productividad y la diversidad de las especies del bosque que en teoría estaban presentes originariamente en un lugar (FAO, 2018a).

Existen diez principios fundamentales para la restauración forestal (FAO, 2018a):

- 1) Seleccionar un lugar o territorio adecuado;
- 2) Analizar y evaluar los factores causantes de la deforestación o la degradación forestal;

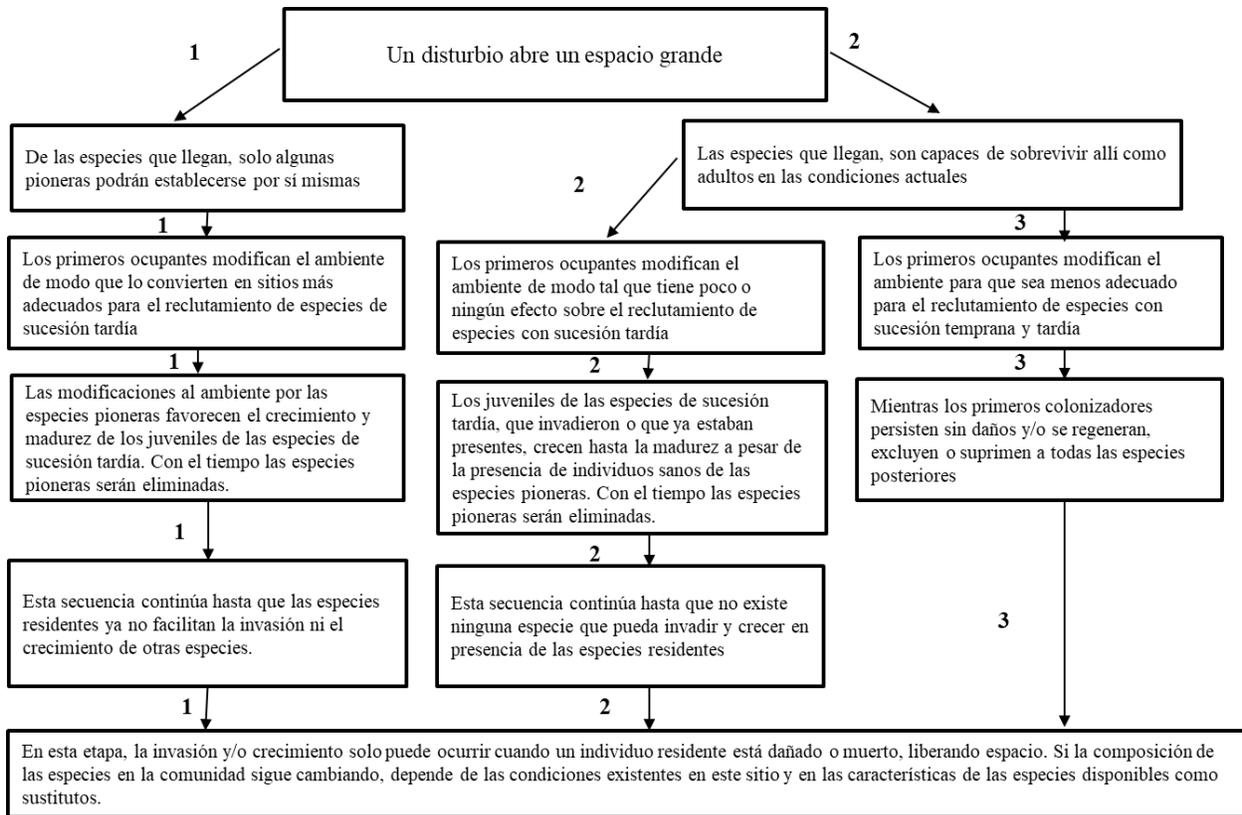
- 3) Involucrar a las partes interesadas;
- 4) Formular un plan de gestión de la restauración;
- 5) Recoger semillas, producir plántulas en viveros y prepararlas para la plantación;
- 6) Plantar árboles;
- 7) Evaluar las necesidades para el fortalecimiento de capacidades;
- 8) Establecer calendarios realistas y planificar los requisitos financieros;
- 9) Realizar un seguimiento de los espacios restaurados o rehabilitados y llevar a cabo actividades de mantenimiento según sea necesario, y
- 10) Estudiar los posibles impactos del cambio climático.

Por lo anterior, los proyectos de restauración deben tomar en cuenta a la sucesión ecológica, determinar la presencia/ausencia de bancos de semillas, elegir las prácticas más adecuadas en función del contexto del ecosistema y optar por el uso de especies nativas (Vanegas, 2016). El objetivo primordial en restauración ecológica debe ser el equilibrio adecuado entre la reconstrucción de los sistemas naturales anteriores y la construcción de sistemas naturales flexibles para el futuro (Harris et al., 2006).

Vanegas (2016), señala que la sucesión ecológica que debe buscarse con la restauración, puede ser el producto de que alguno de los tres procesos, ocurran solos o simultáneamente (Figura 7):

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

Las perturbaciones provocan cambios en la estructura de la vegetación, y los remanentes de vegetación nativa (parches producto de las perturbaciones) constituyen una posibilidad para que se inicien actividades de restauración forestal; estas áreas pueden considerarse resilientes de las actividades humanas y refugio de especies (Gavilán *et al.*, 2008).



**Figura 7.-** Modelos de los mecanismos que producen la secuencia de las especies en la sucesión (Fuente: Connell and Slatyer. 1977).

#### 4.2.2 Favorecimiento de especies y genotipos adaptables

La resiliencia y resistencia de ecosistemas forestales, puede alcanzarse beneficiando a aquellas especies y genotipos adaptables a los cambios ambientales que se hayan proyectado (Anderson y Palik, 2011); características adaptativas que muestran variación a través de gradientes de clima, tales como aquellas que permitan sobrevivir a las especies vegetales a condiciones de estrés por sequía, temperaturas extremas o disturbios comunes, son quizás de mayor importancia; por ejemplo, la mortalidad de semillas es altamente influenciada por el efecto de estrés hídrico en muchos ecosistemas, por lo que el éxito de actividades de reforestación se ve limitado por dicha condición ambiental (Anderson y Palik, 2011). Si la ocurrencia de incendios se agudiza, especies con adaptaciones morfológicas y anatómicas (i.e. corteza gruesa y aislante), o con capacidad de rebrotar de la raíz, pueden mostrar mayor grado de resiliencia y resistencia.

En este sentido, una acción encaminada a la adaptación es adecuar especies y variedades al sitio habitual y proyectado a las condiciones climáticas (FAO, 2013); así, se sugiere, por ejemplo, en los *bosques plantados* utilizar especies y variedades que se adapten a las condiciones nuevas y futuras, y en los *bosques naturales* y *seminaturales*, favorecer a las variedades y especies que se adapten a las condiciones climáticas actuales y previstas para el futuro mediante la retención de árboles semilleros, y por medio de plantaciones de enriquecimiento. En el Cuadro 2, se presentan algunas acciones sugeridas por Thompson (2011) que fueron desarrolladas a partir de principios ecológicos para mantener y mejorar la resiliencia forestal a largo plazo, y especialmente para ayudar a la adaptación de los bosques al cambio climático.

**Cuadro 2:** Acciones sugeridas para mantener y mejorar la resiliencia forestal y ayudar a la adaptación de los bosques ante el cambio climático

<b>Acciones de manejo</b>
1. Planifique con anticipación para mantener la biodiversidad en todas las escalas forestales (posición, paisaje, región) y de todos los elementos (genes, especies, comunidades) sobre la base de una comprensión de los umbrales y de las condiciones climáticas futuras previstas. Esto significa basar acciones en principios ecológicos y conocimiento experto para conservar la biodiversidad durante y después de la cosecha del bosque.
2. Mantener la diversidad genética en los bosques a través de prácticas de manejo que no seleccionen solo ciertos árboles para la cosecha en función del tipo de sitio, la tasa de crecimiento y la forma superior.
3. No reduzca las poblaciones a escala de paisaje de ninguna especie de árbol en la medida en que no sea posible la auto-sustitución.
4. Mantener la complejidad estructural de los rodales y el paisaje usando los bosques naturales como modelos y puntos de referencia. Cuando se manejan bosques, los administradores deben tratar de emular los procesos y la composición en rodales naturales, en términos de composición de especies y estructura de rodales, mediante el uso de métodos silvícolas que se relacionan con los principales tipos de perturbación natural.
5. Mantener la conectividad entre los paisajes forestales reduciendo la fragmentación, recuperando hábitats perdidos (tipos de bosques) y expandiendo las redes de áreas protegidas. Los bosques intactos son más resistentes que los bosques fragmentados a las alteraciones, incluido el cambio climático.
6. Mantener la diversidad funcional (y la redundancia de especies) y minimizar la conversión de diversos bosques naturales a plantaciones monotípicas o de especies reducidas.
7. Reducir la competencia no natural mediante el control de las especies invasoras (y las vías de entrada), y reducir la dependencia de las especies de cultivos arbóreos no autóctonos para los proyectos de plantación, repoblación forestal o reforestación.
8. Reduzca la posibilidad de resultados negativos asignando algunas áreas de regeneración asistida con tres de procedencias y de climas de la misma región que se aproximan a las condiciones esperadas en el futuro. Por ejemplo, en áreas proyectadas para volverse más secas, considere también plantar especies de árboles o procedencias que puedan ser más resistentes a la sequía que las especies y procedencias locales, con especial consideración a las especies regionales.
9. Proteger las poblaciones de especies aisladas o disjuntas, como las poblaciones en los márgenes de su distribución natural, como posibles hábitats de fuentes futuras. Estas poblaciones pueden representar conjuntos de genes preadaptados para responder al cambio climático y podrían formar poblaciones centrales a medida que cambian las condiciones.
10. Asegurar que existan redes nacionales y regionales de áreas protegidas integrales y representativas que se hayan establecido con base en principios científicamente sólidos. Incorporar estas redes en la planificación nacional y regional para la conectividad de paisajes a gran escala.
11. Desarrollar un plan de monitoreo de la efectividad que proporcione datos sobre las perturbaciones naturales, las condiciones climáticas y las consecuencias de las acciones silvícolas y de manejo forestal posteriores a la captura. Adapte las prácticas futuras de planificación e implementación según sea necesario.

(Fuente: Thompson, 2011)

#### 4.2.3 Incorporación de especies y genotipos

Para facilitar la adaptación, se puede adoptar el movimiento intencional de especies o genotipos para combinar las características adaptativas conocidas con sitios en donde estas características pueden ser benéficas en un escenario futuro, resaltando que, esta "migración asistida", concepto que se discute más adelante, puede practicarse con diferentes niveles de intensidad y riesgo (Anderson y Palik, 2011). Otro método que puede ser más sutil para crear resiliencia, es la plantación o siembra de una mayor variedad de especies y genotipos al reforestar después de las actividades de cosecha o de algún fenómeno de perturbación natural, resaltando que, la premisa es expandir el fondo genético, y por lo tanto, la probabilidad de contar con especies individuales adaptadas en un sitio (Anderson y Palik, 2011); además, las actividades de aprovechamiento o corta para regeneración y las perturbaciones que causan cambios en el rodal pueden ser oportunidades para mejorar la capacidad adaptativa del bosque regenerado.

Por lo general, las poblaciones de especies de árboles forestales de amplia distribución, se diferencian genéticamente con el fin de adaptarse al clima, por lo que la diferenciación genética significa que las poblaciones de la misma especie pueden ser diferentes entre sí en uno o más rasgos que les permiten sobrevivir, crecer, competir y reproducirse en un entorno determinado (Sáenz-Romero *et al.*, 2016). Ejemplos de tales rasgos adaptativos son el tiempo y la tasa de crecimiento, la resistencia al daño por heladas o al estrés por sequía, la formación, distancia y tiempo en la dispersión de semillas (Sáenz-Romero *et al.*, 2016).

En general, el movimiento de semillas y plántulas debe ser ascendente en altitud y hacia los polos respectivos de cada hemisferio. Esto se puede lograr mediante prácticas silvícolas, tales como la recolecta de semillas de una población natural, usando éstas para producir plántulas en un vivero y sembrarlas en una ubicación en la que se prevé un clima propicio en un futuro determinado (no en su procedencia original). Este cambio de fuentes de semillas es necesario para adoptar el cambio climático reciente, así como el esperado durante la vida del árbol plantado. En otras palabras, los árboles sanos bien adaptados a estas condiciones deben estar presentes con el fin de producir las semillas y plántulas que puedan sobrevivir y madurar en las condiciones futuras. Esta estrategia de manejo propuesta rompe un concepto fundamental de la ecología de la restauración clásica: que

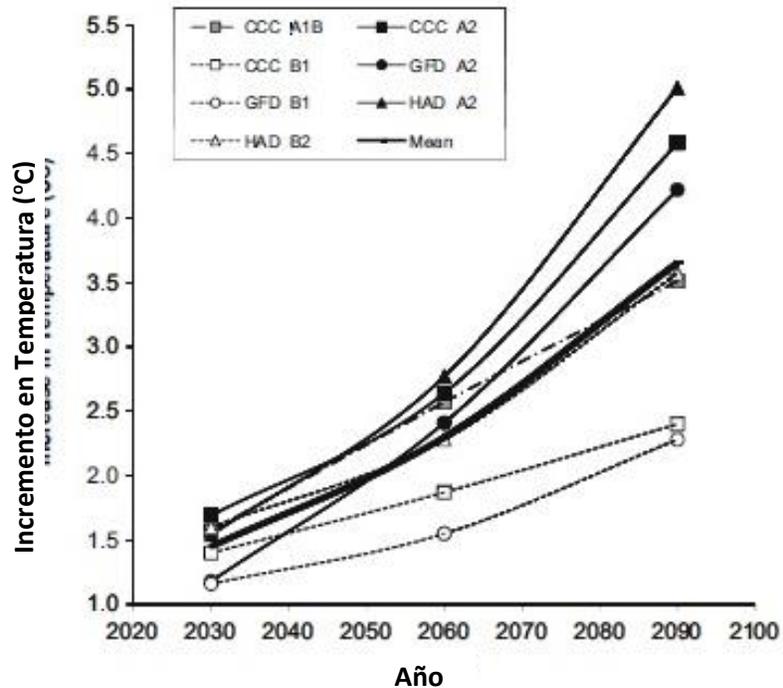
las fuentes locales de semillas son normalmente las mejores; parece que esto ya no es cierto para muchas poblaciones de árboles (Sáenz-Romero *et al.*, 2016).

#### 4.2.4 Migración Asistida

Fernández *et al.*, (2019) utilizan la migración asistida como un término genérico que incluye el traslado de semillas, plántulas, juveniles o adultos, tanto dentro de la distribución geográfica de la especie, como en el margen de esta (reforzamiento de poblaciones) e incluso, fuera de su distribución (colonización asistida).

De acuerdo con Sáenz-Romero *et al.* (2016), la migración asistida es la intervención humana para que coincidan las poblaciones con el medio ambiente al que están adaptadas; de acuerdo con diferentes autores también es llamada colonización asistida, reubicación asistida o migración facilitada.

Sáenz-Romero *et al.* (2010), señalan que la precisión de los aumentos de temperatura pronosticados son más certeros en el corto plazo, por lo que deben llevarse a cabo acciones para garantizar que los bosques aprovechados hoy, sean regenerados con recursos genéticos que estén adaptados a las temperaturas previstas para la década centrada en el año 2030, o cuando mucho en el año 2060 (Figura 8). Lo anterior con el fin de evitar la pérdida excesiva de crecimiento que se producirá si estos árboles son plantados en un sitio donde el clima propicio no se presentará hasta un largo plazo.



**Figura 8:** Incremento de la temperatura media anual (Grados Celsius), en comparación con el clima contemporáneo (1961-1990) de 3,700 estaciones meteorológicas actualizadas por una distancia inversa que marcó los GCM del Centro Canadiense de Análisis y Modelado del Clima (CCC, escenarios A2, B1 y A1B); Centro Hadley (HAD, escenarios A2 y B2) y Laboratorio de dinámica de fluidos geofísicos (GFD, escenarios A2 y B1), durante décadas centradas en los años 1930, 1960 y 1990. Fuente: Sáenz-Romero *et al.* (2016).

Para promover la migración asistida, el primer paso es determinar la vulnerabilidad de la especie o del sistema en cuestión (Fernández y Benito, 2015). Hay dos aproximaciones emergentes para este tópico, una centrada en una población amenazada y otra centrada en un ecosistema. Por lo anterior, se requiere saber y conocer la vulnerabilidad de las especies, opciones de manejo para compensarla y en caso de ser necesaria, las herramientas para escoger las poblaciones a migrar.

La vulnerabilidad de una especie al cambio climático viene definida por su exposición y su sensibilidad al cambio climático, moduladas por su capacidad adaptativa (Fernández y Benito, 2015):

- **Exposición al cambio climático:** la magnitud y dirección del cambio climático esperado, lo cual tradicionalmente se ha medido con el cálculo de anomalías entre el clima esperado para

2050 o 2100 y el clima actual (entendido como el promedio de al menos 30 o 50 años). La velocidad del cambio climático esperada se estima como el número de km/año que una especie necesita migrar para mantener las mismas condiciones climáticas en el futuro (Fernández y Benito, 2015).

- **La sensibilidad**, son los límites eco-fisiológicos de una población para resistir diferentes tipos de estrés y se puede medir en caracteres como la biomasa, el crecimiento, la mortalidad, entre otros (Holling, 1973).
- **Capacidad de adaptación:** Depende de la distribución de la variabilidad genética de los caracteres adaptativos que presenta una especie. De acuerdo con Fernández y Benito, (2015), los métodos más pertinentes para calcular una migración asistida son las “funciones de transferencia”, que se basan en ensayos forestales recíprocos donde se calculan las diferencias de crecimiento, fenología, supervivencia, resistencia a climas extremos, y otros, con respecto a una distancia climática entre el sitio de origen de la procedencia y el sitio de ensayo.

**Cuadro 3.** Principales argumentos a favor y en contra de la migración asistida.

<b>A Favor</b>	<b>En Contra</b>
Opción para compensar fragmentación del paisaje	Riesgo e Impactos irreversibles de invasión
Remediación de funciones ecosistémicas	Impactos sobre los ecosistemas y sus funciones
Forma de prevenir la extinción local	Contaminación genética de poblaciones locales (hibridación intra e inter específica)
Opción de manejo innovadora	Desvío de recursos de alta prioridad
Necesario o prácticamente obligatorio para especies con poca dispersión y sensibles al cambio climático	Parcialidad hacia las especies consideradas importantes, prioridades erróneas
Opción plausible con un manejo de riesgos adecuado	Insuficiente información científica
Mejoramiento de las prácticas de traslado de especies amenazadas	Continuación de prácticas poco efectivas de manejo
Beneficios sociales y culturales	Impactos sociales y culturales por la modificación del paisaje

Fuente: Fernández y Benito (2015).

En resumen, Lawler (2009) considera que si el riesgo de realizar la migración asistida es bajo, lo más probable es que no sea necesaria, si el riesgo es moderado, recomienda mejorar la resiliencia

a través de la conectividad del paisaje, reducir amenazas y aumentar la diversidad genética y si el riesgo de la migración es alto, se analiza el mayor beneficio de la migración sobre los costos que ésta representa.

### **4.3 Reducción de riesgos**

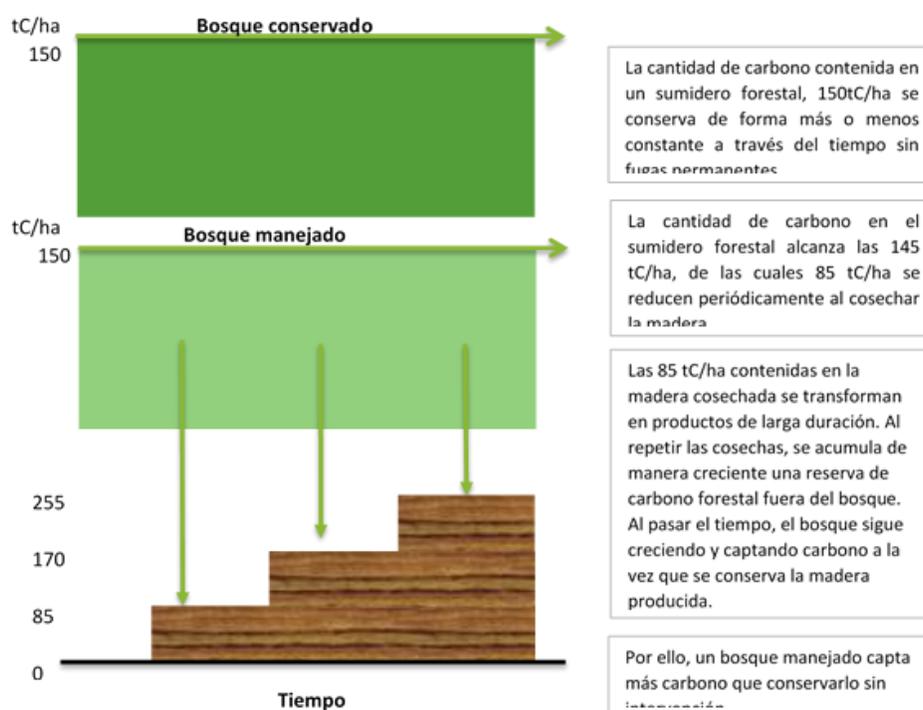
Los enfoques más evidentes para aumentar la resiliencia de los ecosistemas son la eliminación de amenazas tales como la reducción del impacto de las especies exóticas, evitar la pérdida y fragmentación de hábitats, eliminar la sobreexplotación de recursos, entre otros (Lawler, 2009). La silvicultura puede ser útil para reducir algunas amenazas a ecosistemas forestales vulnerables; entre las amenazas bióticas se encuentran algunos insectos y enfermedades, patógenos, y plantas o animales invasores. Las amenazas físicas comprenden fuentes de ignición de incendios como rayos, tormentas de viento, inundaciones o deslizamientos de tierra. Algunas estrategias de silvicultura para las amenazas bióticas pueden ser el tratamiento de focos de infestación a través de actividades de aprovechamiento, saneamiento, corta o la quema de madera caída a causa de actividades de cosecha o de perturbaciones naturales, y estrategias integradas de gestión de plagas y enfermedades para plantas y animales invasores. Los regímenes silvícolas permiten minimizar la desestabilización de las pendientes y moderar el escurrimiento para mitigar posibles deslizamientos e inundaciones, a través del manejo de densidades residuales (Anderson y Palik, 2011).

El IPCC (2018), señala como ejemplo de riesgo, que la tundra de alta latitud y los bosques boreales, están en riesgo de degradación y pérdida, inducidas por el cambio climático, ya que los arbustos leñosos han invadido la tundra y esto continuará con un mayor calentamiento. Considera además, que existe una amplia gama de opciones de adaptación para reducir los riesgos para los ecosistemas naturales y manejados (Por ejemplo, la adaptación basada en el ecosistema, la restauración del ecosistema y la degradación, la deforestación evitadas, la gestión de la biodiversidad, la acuicultura sostenible y el conocimiento local e indígena), los riesgos del aumento del nivel del mar, y los riesgos para la salud, los medios de vida, los alimentos, el agua y el crecimiento económico, especialmente en paisajes rurales y áreas urbanas.

El tratamiento de amenazas dentro de un paisaje puede estar influenciado por la aplicación de tratamientos a nivel del rodal. Por ejemplo, el manejo de material combustible es parte de la

restauración de la resiliencia a incendios en algunos bosques occidentales. Para que la reducción de combustibles sea efectiva, al menos un 20 o 30% del paisaje necesita un tratamiento en patrones espaciales de tal forma que se debe repetir en 15 o 20 años. En cambio, para las aplicaciones espaciales aleatorias se debe abarcar el doble del área para obtener el mismo efecto. Estos contextos a mayores escalas son útiles para darles prioridad a las acciones destinadas a reducir amenazas a nivel del sitio y del rodal (Anderson y Palik 2011).

El aprovechamiento forestal puede contribuir a la adaptación al cambio climático, ya que reduce el riesgo de inundaciones y deslaves provocados por eventos climáticos extremos y mejora la infiltración de las áreas con cobertura forestal (SEMARNAT, 2018). Un bosque manejado es mejor que un bosque conservado sin manejo para la mitigación de los efectos del cambio climático (Figura 9) (Bray *et al.*, 2010).



**Figura 9.** Beneficios del Manejo Forestal en relación a la captura y almacenamiento de Carbono. (Adaptado de Bray *et al.*, 2010).

Bray *et al.* (2010), muestran de manera esquemática y numérica la proporción de CO<sub>2</sub> capturado en los productos de madera y la capacidad de secuestro de carbono ambiental que mantienen los

bosques manejados en comparación con los bosques en conservación y señalan como adicionalidad, el carbono capturado en los productos fabricados con madera.

A escala regional, los bosques manejados se consideran sumideros de carbono, primero por la acumulación de CO<sub>2</sub> en la madera cosechada, pero también al mejorar la capacidad de recuperación, manteniendo la capacidad de secuestrar carbono en el futuro. Es decir, los bosques activos incrementan la captura y almacenamiento de carbono al formarse la madera y al mismo tiempo se almacena en los productos de madera.

El manejo forestal sustentable (MFS) está vinculado con la adaptación al cambio climático y proporciona un marco integral que puede adaptarse a las nuevas circunstancias; utilizar al MFS como un marco general, ayuda a garantizar que las medidas de adaptación y mitigación sean sinérgicas y equilibradas con otros objetivos de manejo forestal y tengan en cuenta los valores económicos, sociales y ambientales de los bosques (FAO, 2013).

El manejo de los bosques juega un papel fundamental en los esfuerzos de México para la mitigación del cambio climático (CONAFOR, 2017). Es por ello que el manejo forestal es una de las opciones más importantes para promover, por un lado, la mitigación de emisiones de dióxido de carbono y, por otro, el desarrollo forestal sustentable (Ordoñez, 2008).

También, los ejemplos de aplicación de prácticas mejoradas de manejo forestal para conservación de la biodiversidad, el manejo con enfoque de paisaje y el uso diversificado de los ecosistemas (e.g. Reserva Forestal Multifuncional “El Manantial”), son solo algunos ejemplos de que es posible aplicar un manejo adaptativo con enfoque de ecosistemas orientado hacia adaptación y mitigación a los efectos del cambio climático.

La FAO (2013) señala que los manejadores forestales deberán ajustar sus objetivos y prácticas de manejo para reducir la vulnerabilidad y facilitar la adaptación al cambio climático, tanto de los bosques, como de las personas que dependen de los bienes y servicios ecosistémicos que proporcionan estos bosques; así, se debería de tratar de optimizar los beneficios potenciales del cambio climático sacando provecho de la política de incentivos y mecanismos de apoyo financiero a la adaptación al cambio climático y a su mitigación.

#### **4.4 Silvicultura adaptativa para el cambio climático**

Los tratamientos silvícolas a escala del rodal son más efectivos cuando se conciben y se aplican en el contexto del paisaje; los factores de estrés relacionados con el clima se producen a escalas del rodal y del paisaje (Collaborative Partnership on Forests, 2012). Para tener un mayor impacto de adaptación, la silvicultura debe practicarse estratégicamente para enfocarse mejor en las amenazas y respuestas que se producen a diferentes escalas espaciales y temporales. La oportunidad de hacer todo lo necesario, en todas partes, todo el tiempo, es muy improbable. Los silvicultores deben comprender cómo funcionan las vulnerabilidades y las amenazas a varias escalas para poder ser más efectivos al utilizar recursos de adaptación limitados

#### **4.5 El Manejo Forestal Adaptativo**

El manejo adaptativo es una orientación distinta del manejo forestal, en el cual las condiciones cambiantes son monitoreadas y las prácticas son adaptadas en consecuencia. El manejo adaptativo combina la planificación, ejecución, monitoreo y modificación del manejo de recursos en respuesta al monitoreo. Además, es ampliamente visto como parte de una respuesta adecuada al cambio climático y a otros cambios ambientales (Collaborative Partnership on Forests, 2012).

De acuerdo con la Asociación de cooperación en materia de bosques (2012), el manejo forestal adaptativo puede describirse de diferentes maneras, por lo tanto considera que:

- Es Manejo forestal de usos múltiples, reduce la vulnerabilidad ambiental, social y económica al cambio climático, ya que genera beneficios múltiples, como bienes forestales (alimentos, leña y madera y productos no madereros), y regula servicios públicos (agua, secuestro de carbono y conservación del suelo), así como servicios de recreo, espirituales y religiosos. |
- La adaptación del manejo forestal y del componente social al cambio climático ha sido principalmente reactiva, ejecutando medidas en respuesta a los efectos producidos. Con una planificación adecuada y pronósticos sólidos sobre las condiciones futuras, las medidas y acciones de anticipación que buscan reducir la vulnerabilidad e incrementar la capacidad de recuperación serán probablemente más eficaces y eficientes.

#### **4.6 Enfoques de paisaje**

Los enfoques integrados para la gestión del paisaje pueden aumentar las sinergias entre los múltiples objetivos de uso del suelo. Al tener en cuenta los puntos de vista, necesidades e intereses de todas las partes interesadas, en particular las comunidades locales y los usuarios de la tierra, los enfoques de paisaje (también referidos como enfoques territoriales) pueden ser decisivos en la elaboración de estrategias de medios de subsistencia y de uso sostenible de la tierra. La adopción de un enfoque de paisaje puede contribuir a identificar las actividades de mitigación y adaptación de los bosques que proporcionen los mejores resultados económicos, sociales y ambientales (Collaborative Partnership on Forests, 2012)

#### **4.7 Alianzas y enfoques participativos**

Los actores del sector forestal son todas aquellas personas que dependen de los bosques o se benefician de ellos y las que toman decisiones, controlan o reglamentan el acceso a los mismos. Las alianzas y enfoques participativos pueden operar en una gama de niveles, desde el nacional hasta el local, y pueden incluir a las autoridades estatales y locales, los organismos de extensión forestal, las comunidades que dependen de los bosques, las organizaciones no gubernamentales [ONG], las entidades del sector privado, las organizaciones académicas y de investigación y a los gestores forestales (FAO, 2013).

*Sinergias entre adaptación y mitigación.* La adaptación al cambio climático y la mitigación del mismo están estrechamente vinculadas y son complementarias. Dada la importancia de los ecosistemas forestales para el clima, para que la mitigación sea exitosa es preciso que los bosques sean capaces de adaptarse al cambio climático. Las inversiones en la conservación, la restauración y el manejo forestal sostenible pueden generar situaciones beneficiosas, produciendo buenos resultados tanto para la mitigación como para la adaptación.

*Adaptación basada en los ecosistemas forestales.* Los enfoques más eficaces del MFS emplean estrategias de adaptación basadas en ecosistemas, políticas y prácticas tales como la gestión paisajística, la conservación y restauración, así como la agroforestería. Estas estrategias adoptan enfoques ecosistémicos intersectoriales y multidisciplinarios a distintos niveles que reconocen la importancia de los servicios ecosistémicos a la hora de reducir la vulnerabilidad de las comunidades ante el cambio climático.

Edwards & Hirsch (2012), consideran que para integrar la adaptación al cambio climático en el manejo forestal sustentable, es necesario desarrollar herramientas más avanzadas, generar mecanismos para compartir el conocimiento sobre los impactos y la adaptación, y es indispensable la comunicación, la educación y el intercambio de conocimientos en todos los sectores del manejo forestal.

En conclusión, de los nuevos enfoques desarrollados, la comparación de opciones de las medidas de adaptación disponibles será la clave para adaptar con éxito el manejo forestal a los desafíos del cambio climático (Sousa *et al.*, 2016). Sin embargo, aunque se ha escrito mucho acerca de las estrategias de adaptación en la silvicultura (Lindner *et al.*, 2010; Kolström *et al.*, 2011; Keenan 2015), y se han desarrollado varios manuales de orientación recientes para ayudar a los administradores forestales (Lindner *et al.*, 2010; Peterson *et al.*, 2011; FAO 2013), todavía existe un importante déficit de conocimiento entre los interesados en los bosques.

## CAPITULO 5. ESTUDIOS DE CASO EN MÉXICO

### 5.1. Manejo de Paisaje en Mascota Jalisco

Mendoza *et al.* (2005) señalan que en las décadas recientes han surgido mecanismos que consideran los efectos del régimen de disturbio y la competencias por la luz entre el arbolado, y se han dado avances en la adecuación de las estructuras cultivadas para hacer posible la continuidad de los procesos naturales fundamentales. Además, señalan como ejemplo el manejo de las perturbaciones, como sucede con los avances en materia de claros dentro del dosel del rodal y en el manejo de los residuos leñosos en el suelo.

Los principales atributos diseñados dentro del sistema de manejo llamado *manejo de paisaje (o manejo con enfoque de paisaje)*, han sido dirigidos a admitir una nueva variedad de unidades de terreno, y no únicamente rodales, esto es, polígonos de terreno cuyas cualidades se asume son homogéneas en su interior y claramente separables de las cualidades de los vecinos. También, se permite que en el interior de un rodal puedan darse diversos tratamientos para atender zonas específicas que así lo requieran. Considera además, que en el manejo de paisaje, la gestión de operaciones tiene elementos que explícitamente permiten detectar, prescribir y dar seguimiento a fenómenos azarosos como son los incidentes de plagas, enfermedades, incendios y daños climáticos; esto, en virtud de que la ecología del paisaje ha puesto mucha atención al patrón de distribución espacial y recurrencia de perturbaciones, las cuales se dice que son el motor de la dinámica sucesional.

La aplicación de Manejo con enfoque de Paisaje en México, se inició en el conjunto predial El Llanito, ubicado en Atenguillo, Jalisco (Mendoza *et al.*, 2005; Fajardo, 2006), con el objetivo de atender la escasez de estructuras tardías (maduras a viejas) y el problema de la fragmentación de las masas arboladas, con la presencia cada vez más constante de condiciones de orilla, la cual no ha sido atendida y presenta atributos de poca vegetación que limitan el desarrollo del arbolado cercano a la orilla, y con ello cambiar la visión hacia un nuevo régimen silvícola. Por lo anterior, es importante visualizar el manejo hacia el futuro promoviendo la mejora de las condiciones de fragmentación y recuperar algunas de las estructuras sucesionales tardías, perdidas a consecuencia del manejo forestal previo (Mendoza *et al.*, 2005; Fajardo, 2006).

Si bien el bosque presente en El Llanito es representativo de buenas condiciones de bosques de coníferas mexicanas, las cortas aplicadas en el pasado han llevado a una escasez de estructuras sucesionales tardías. En este nuevo régimen se dio prioridad al tratamiento de los rodales con mejores perspectivas de reponer las estructuras y funcionalidad del bosque maduro o viejo, y se atendieron las emergencias causadas por incendios y plagas. Los algoritmos y políticas de corta diseñados, aprovechando los sistemas ya existentes y la base de información de manejo previo, permitieron una satisfactoria instrumentación del concepto de manejo de paisajes (Fajardo, 2006).

La conservación natural se define como el hacer activamente lo que esté aconsejable para acercar la condición y dinámica de las masas forestales actuales a los atributos de un bosque virgen en sus diversas estructuras, etapas sucesionales y procesos ecológicos dinámicos, como el régimen de perturbaciones (Rodríguez *et al.*, 2011). Dichos autores señalan, además, que el manejo de paisajes aprovecha la teoría de paisajes ecológicos para desarrollar tecnología silvícola que permita regular atributos múltiples del bosque en los rubros principales de relevancia para la conservación natural.

Fajardo (2006), desarrolló un trabajo sobre la inclusión de técnicas de manejo del paisaje en los predios denominados “El Llanito, Buenavista, Los Vaqueros, Potrerillos y La Tuza” en el Municipio de Atenguillo, Jalisco. El manejo del paisaje en estos predios se refiere al manejo forestal utilizando principios de ecología del paisaje. La información del inventario en los predios se procesó usando la estructura general de SICODESI, pero incluyendo las técnicas de manejo del paisaje y prácticas mejoradas para la toma de decisiones finales sobre el ordenamiento silvícola, muchas veces usando modelos “heurísticos”, sobre todo para el balance de superficies de cada etapa sucesional. Lo innovador de este esquema silvícola es utilizar las etapas sucesionales, como objetivos silvícolas, garantizando con ello el cumplimiento de requerimientos ecológicos del bosque al aplicar los tratamientos silvícolas.

Rodríguez *et al.* (2011), en concordancia con las etapas descritas por Oliver y Larson (1990), describen a las etapas del sistema silvícola de manejo del paisaje (MAPA) (Figura 10) de la siguiente forma:

**INICIACIÓN:** Después de un disturbio intenso y amplio, el rodal se renueva y cada individuo recibe poca o ninguna influencia de sus vecinos, e interactúa con otras especies. Esta etapa puede durar pocos o muchos años, y en ellos los individuos pueden o no avanzar

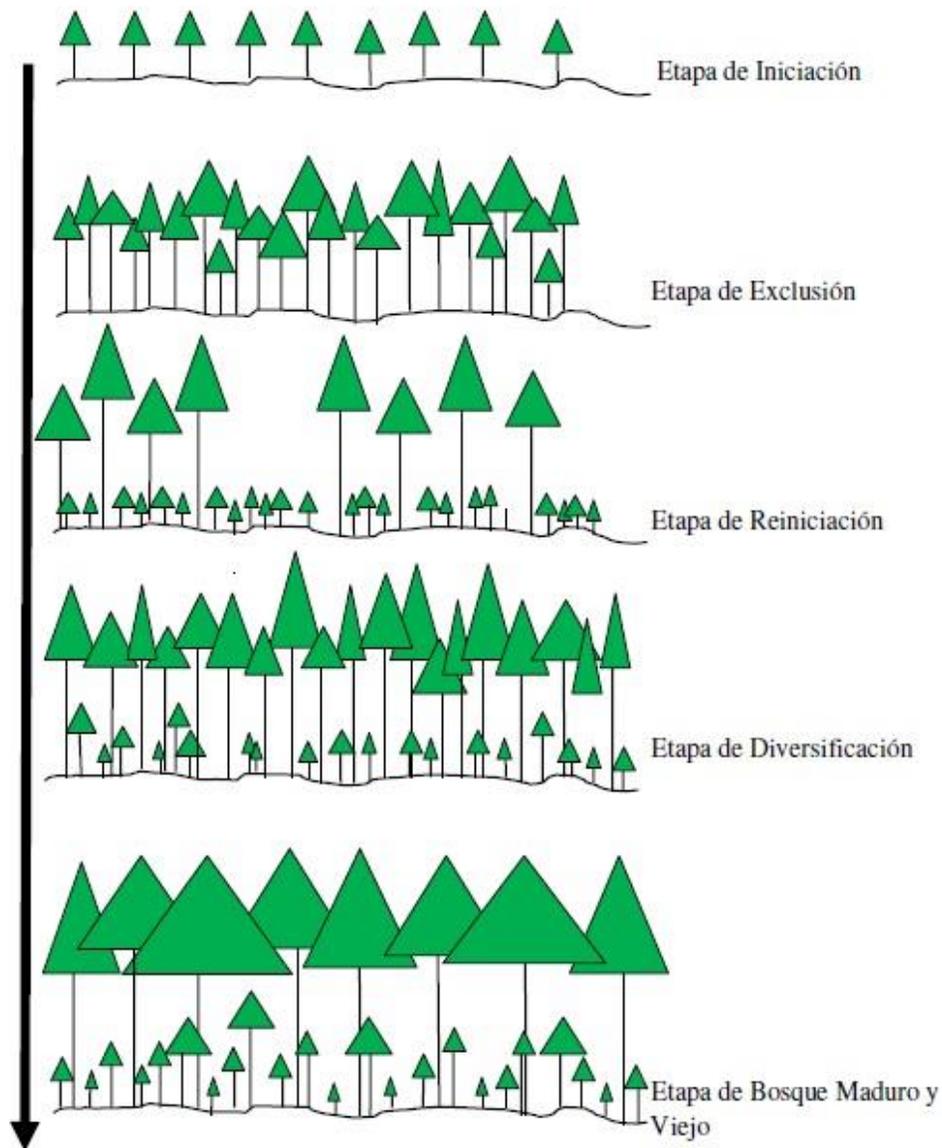
en sus etapas vitales. Las copas no se tocan y no hay diferenciación por dominancia ni mortalidad inducida por exceso de densidad.

**EXCLUSIÓN:** Hay diferenciación de copas por dominancia. La saturación de la densidad del arbolado provoca mortalidad del mismo, existen riesgos de plagas severas (*e.g.* descortezadores), fuego y daños físicos sobre extensiones de terreno limitadas, tales que de ocurrir el repoblado, haría avanzar al rodal a la siguiente etapa (reiniciación). La muerte de individuos aislados da lugar a la ocupación del espacio por los vecinos. La cobertura de copas debe ser tan completa en esta etapa que es imposible el establecimiento de renuevo.

**REINICIACIÓN:** Esta etapa ocurre luego de periodos largos de exclusión los cuales dan lugar a numerosos incidentes de mortalidad en grupos por exceso de densidad o por factores de perturbación (*e.g.* muérdago, fuego, descortezadores, daño por fenómenos climáticos extremos como viento, entre otros). Cuando hay mortalidad alta, se abren espacios del dosel tan amplios como para inducir a la regeneración y se da la apariencia de una masa de dos pisos. Si el proceso se perpetúa, la estructura cambia a la etapa siguiente (diversificación), pero si no hay suficientes manchones muertos cada año, es posible que el rodal retome la estructura de exclusión.

**DIVERSIFICACIÓN:** Al continuar el proceso de reiniciación por largo tiempo se logran grupos de árboles de todo tamaño y edad en el rodal. La presencia de algunos pocos grupos sobrevivientes de las etapas de iniciación, a estas alturas ya cercanos a su longevidad natural y su máximo tamaño y fecundidad, da un perfil de tres pisos, e incluso aparentando una estructura de selección completa. El material del suelo sigue aumentando pese al fuego y otros factores que la consumen, y con los años el material se va degradando e incorporando al suelo mineral preexistente.

**BOSQUE MADURO Y VIEJO:** Estructuras seniles por arbolado viejo, se mezclan en grupos de regeneración, así como también grupos de arbolado de todas las etapas. Los árboles seniles son de dimensiones enormes, despuntados, podridos en el centro y de ramas largas, pero no son más grandes que los de etapas previas, incluyendo iniciación, por tanto su expresión de copas y porte será menor que la mejor posible para la especie y sitio.



**Figura 10.-** Etapas sucesionales del Manejo del Paisaje descritas por Oliver y Larson (1990) y utilizadas en el Método de Manejo de Paisaje. Fuente: Rodríguez *et. al* (2011).

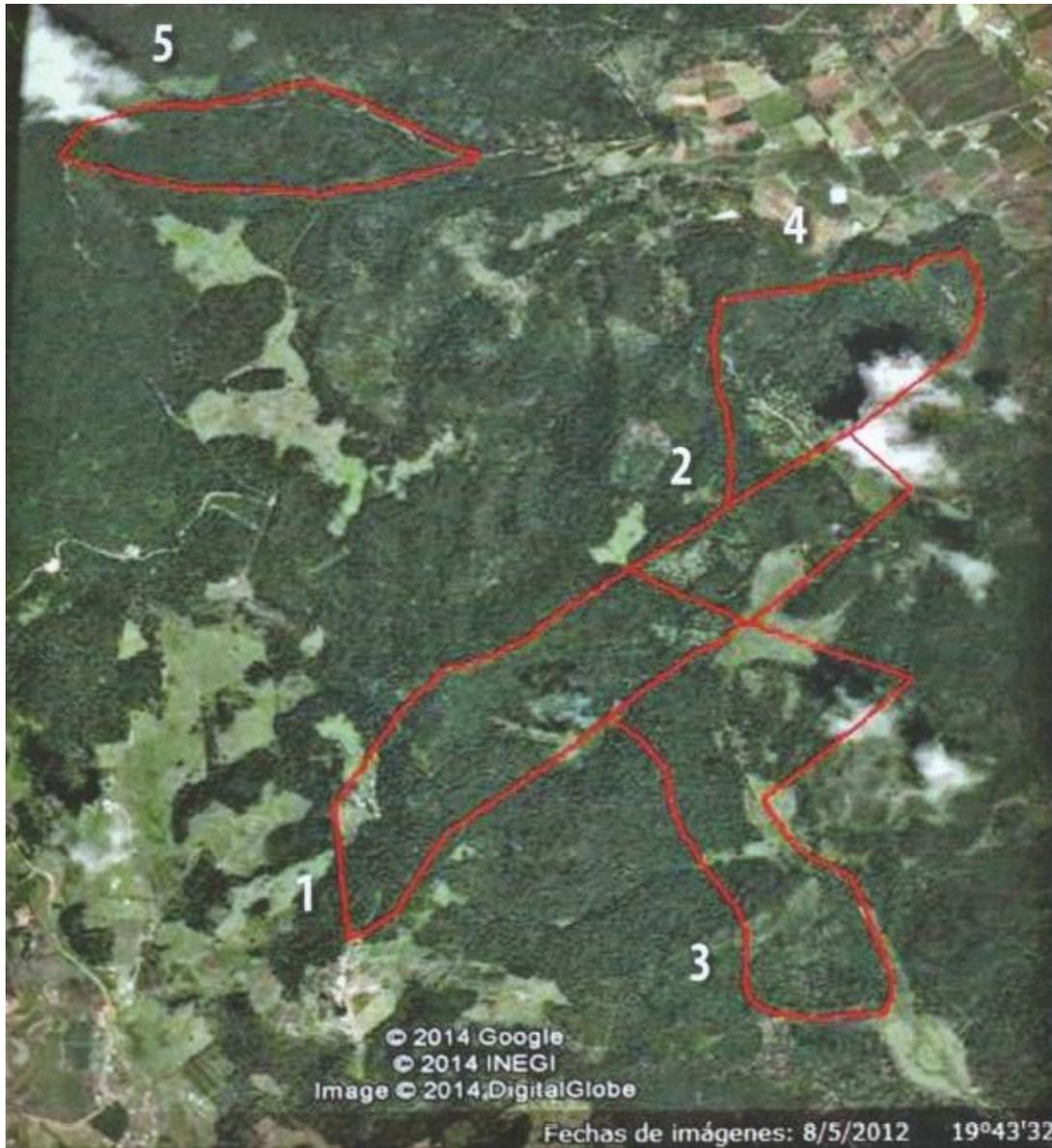
Según Rodríguez *et. al.* (2011), la sucesión, así como los procesos de crecimiento, natalidad, mortalidad, incorporación, producción y rendimiento siguen la ruta única sucesional del modelo de Oliver y Larson (1990), pero cada tipo forestal y cada condición de calidad de sitio, avanzarán unos más rápido que otros, en la misma trayectoria. Señalan además, que la silvicultura entre otras posibilidades, de actuar dentro de manejo de paisaje, tiene la opción para que pueda tener

trayectorias alternas, no lineales, donde de una etapa se pasa a otra (s) que no son las subsecuentes, pero sí las posibles de acuerdo a la intervención silvícola.

La identificación de distintos ambientes (tipos de paisaje o escenarios) en el predio así como la aplicación de tratamientos silvícolas de acuerdo a la trayectoria de las etapas sucesionales, propuestos por Rodríguez *et al.*, (2011) se muestran claramente como aplicación de una silvicultura adaptativa (Figura 10).

## **5.2.Reserva Multifuncional “El Manantial” Aquixtla, Puebla**

La Reserva Forestal Multifuncional “El Manantial”, está conformada por 5 predios 1.- Los Corrales, 2.- El Ocote, 3.- Fracción Ocojala-Sierra Mojada, 4.- Fracción Rancho Chichicaxtla y 5.- Fracción 1, 1 bis, 2 y 2 bis de Chichicaxtla, en los municipios de Aquixtla e Ixtacamaxtitlán, Puebla. (Castaños y Castro, 2014) (Figura 11).



**Figura 11.-** Ubicación del Conjunto Predial Reserva Forestal Multifuncional “El Manantial”.

Fuente (Castaños y Castro, 2014).

Estos terrenos de 278 ha en los cinco predios se encuentran bajo manejo forestal con un enfoque de alta productividad, diversificación productiva, investigación y criterios para conservación de la biodiversidad, considerando acciones de aprovechamiento maderable, producción de árboles de navidad, extracción de aceites esenciales, utilizar el paisaje y la belleza escénica para recreación, monitoreo de pérdida de suelo y escurrimiento, acciones de protección de suelo y agua, protección

contra incendios y tala ilegal, además de las acciones de conservación de la biodiversidad en bosques bajo manejo forestal (Castaños y Castro, 2014).

**Maderable:** 233 ha de donde se obtienen 2,000 m<sup>3</sup>r por año (50% pino y 50% oyamel), vendiendo la trocería libre a bordo de brecha (LAB).

**Árboles de Navidad:** 12 ha, que representa la venta de 1,700 árboles por año. Pino navideño (*Pinus ayacahuite var. Veitchii*) y Pinabete (*Pseudotsuga menziesii*).

**Aceites esenciales:** Se realizaron análisis de propiedades terapéuticas de los aceites esenciales para 10 especies: Oyamel (*Abies religiosa*), pinabete (*Pseudotsuga menziesii*), pino patula (*Pinus patula*), pino navideño (*Pinus ayacahuite*), toronjil del monte (*Agastache mexicana*), árnica de montaña (*Heterotheca inuloides*), cedro blanco (*Cupressus lindleyi*), lavanda grosso (*Lavandua xintermedia* cv Grosso), menta (*Menta arvensis* L. var. *piperacens*) y eucalipto dólar (*Eucalipthus* sp). Se cuenta con destilador propio para obtención de aceites esenciales para aromaterapia.

**Sistema de Monitoreo:** Incluye la evaluación de pérdida de suelo a través de sitio tipo canal *Parshal* modificado para medir erosión, escurrimiento y sedimentos; además, se realiza con distintas coberturas en lotes de observación. Se evalúan variables climatológicas e hidrológicas. Se cuenta con sitios para evaluar densidad, para investigación silvícola y para efectos de tratamientos, así como ensayos de procedencias y progenie.

**Conservación de la Biodiversidad:** Se realizó un pre-inventario de fauna y de sus aspectos ecológicos y biológicos, incluyendo la flora más allá de los árboles, es decir incluyendo arbustos y herbáceas. Del inventario resultante se identificó a 88 especies de fauna, de las cuales 15 son endémicas. Se caracterizaron los hábitats resultando 23 hábitats diferenciados. Se pretende incorporar la conservación de la biodiversidad como el cambio de conductas y actitudes de las personas hacia la biodiversidad de los bosques.

Las acciones concretas realizadas o planeadas en la reserva forestal multifuncional el Manantial con respecto al cambio climático son (Castaños y Castro, 2014):

- Ingreso a la venta de bonos de carbono en el mercado voluntario.
- Realizar acciones de adaptación por zonificación altitudinal (2650 a 3100 m).
- Establecer plantaciones de pino y oyamel, con una base genética más amplia.

- Reunir información de cinco casetas climatológicas y elaborar el atlas bioclimático local.
- Ampliar superficie de tanques y ollas de agua.
- Mantener la remediación de los sitios permanentes de monitoreo.

Castaños y Castro (2014), señalan que los impactos actuales y futuros del cambio climático en los ecosistemas forestales son de preocupación global. Las acciones de mitigación y adaptación deben ser contempladas y apoyadas, aunque el conocimiento actual es limitado.

### **5.3.Iniciativa 20X20**

Se trata de una iniciativa multinacional de 17 países en América Latina y el Caribe con el objetivo de restaurar 20 millones de hectáreas de tierra degradada para el año 2020. Hasta el momento, los gobiernos de los países participantes se han comprometido, a restaurar y proteger más de 50 millones de hectáreas de tierras degradadas. Diversas organizaciones internacionales apoyan esta iniciativa a través de proyectos de fortalecimiento para la definición de los compromisos adquiridos para la recuperación de paisaje y sobre todo para elaborar los planes de implementación estratégica (WRI Bosques, 2018).

La iniciativa avanza a lo largo de tres principales bloques de actividad:

- 1) Apoyo técnico y normativo a las autoridades agrarias y medioambientales en el proceso de toma de decisiones para colocar áreas específicas en recuperación, incluida la identificación y eliminación de obstáculos normativos y reglamentarios para la recuperación de la tierra en la región;
- 2) Análisis de costo-efectividad en apoyo de la selección de esquemas de restauración alternativos;
- 3) Apoyo a la identificación y acceso a recursos para la financiación de los esfuerzos de recuperación de la tierra, especialmente la mejora de las condiciones propicias para impactar a los inversionistas que ya se han comprometido con la iniciativa.

En México, se ha propuesto restaurar con esta iniciativa 8.5 millones de hectáreas de tierras degradadas, pero se tiene la participación de otras instituciones como la SADER con la

restauración de tierras agrícolas, que seguramente incrementará la superficie atendida (WRI Bosques, 2018)

WRI Bosques (2018), señala que la restauración de tierras se entiende como “*un proceso natural o asistido que permite incrementar la funcionalidad de la tierra (o territorio socio-ecológico) de manera sostenible*” y por lo tanto en el sector ambiental del país se tienen proyectos con diversos objetivos que cumplen la función de restauración (conservación de la biodiversidad, conectividad entre áreas naturales protegidas, mitigación/adaptación al cambio climático, entre otros)

Los trabajos del área de Bosques de WRI México están enfocados a:

- Mapear geográfica y estadísticamente los proyectos que involucran restauración de tierras, así como agregar las zonas que estarán en proceso de restauración y sumar su aporte potencial a las metas adquiridas bajo la Iniciativa 20x20.
- Establecer una comunidad activa de aprendizaje e intercambio entre actores involucrados en procesos de restauración de tierras.
- Proponer puntos fundamentales para una política nacional de restauración.

En el contexto del manejo forestal adaptativo, esta iniciativa representa una gran oportunidad para aplicar los principios de restauración basada en ecosistemas y con ello incrementa los efectos positivos ante el cambio climático, incorporando criterios de composición, densidad y riesgos ante los escenarios futuros de temperaturas y la posibilidad de incluir especies tolerantes o genéticamente mejoradas (WRI Bosques, 2018).

## CAPITULO 6. PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

El enfoque dinámico del manejo de los ecosistemas forestales demandará nuevos retos en la investigación para generación de conocimientos, que permitan el mejoramiento y la creación de capacidades para el mejor desempeño de las tareas de planeación, ejecución y monitoreo del manejo forestal (Aguirre, 2015). Sobre todo porque existe una brecha significativa entre la investigación de silvicultura académica-experimental y la Silvicultura practicada en el Manejo Forestal. (Fahey *et al.*, 2018).

Por lo anterior, las necesidades de investigación forestal en materia de adaptación a y mitigación de los efectos del cambio climático en los bosques se orientan a:

- a. Elaborar estudios de vulnerabilidad de los ecosistemas forestales en México con una relación hacia los bosques productivos, con el objetivo de conocer los efectos de los aprovechamientos sobre los ecosistemas y valorar de manera puntual la factibilidad de mejorar su resiliencia. (FAO, 2013; Lawler, 2009).
- b. Generar sistemas forestales sólidos de monitoreo y reporte, ya que son aspectos clave de las respuestas relativas a los bosques frente al cambio climático. Estos sistemas deberán suministrar alertas a tiempo sobre los fenómenos extremos y los impactos del cambio climático y brindarán información útil sobre la eficacia de las respuestas de manejo (FAO, 2013).
- c. Evaluar la relación costo-eficiencia de las opciones de adaptación y mitigación al cambio climático y determinar la más factible dada la disponibilidad de las capacidades técnicas y el apoyo del entorno normativo (FAO, 2013).
- d. Las estrategias y acciones específicas en materia de cambio climático variarán según el lugar, la productividad forestal, los objetivos locales de manejo y la extensión y naturaleza de los impactos esperados del cambio climático. Los gestores forestales deben continuar sus esfuerzos para comprender las amenazas y oportunidades del cambio climático a medida que surjan (FAO, 2013).
- e. Los manejadores forestales pueden contribuir a disminuir la velocidad del cambio climático, ayudar a la sociedad a adaptarse al cambio climático, conservar los numerosos

valores de los bosques, y garantizar que estos bosques continúen aportando sus numerosos bienes y servicios ecosistémicos (FAO, 2013).

- f. Promover la integración y evaluación de los nuevos conceptos y tratamientos silvícolas dentro de los programas de manejo forestal, así como el desarrollo de otros documentos que detallen las prácticas silvícolas actuales en diferentes tipos de bosques y regiones (Fahey *et al.*, 2018).
- g. Respuesta de diferentes especies al cambio climático, identificando recomendaciones para responder a los cambios. Identificación de amenazas y potencialidades de evolución, sobre las especies de interés ante el aumento de la temperatura y los cambios en los regímenes de precipitación. Los esfuerzos de investigación deberán tener un enfoque mucho más aplicado (Lawler, 2009).

La FAO (2011) recomienda supervisar y evaluar periódicamente los programas de investigación forestal por su relevancia y contribución a la adaptación al cambio climático, así como los programas de mitigación, los avances en el fortalecimiento de la cooperación regional, la investigación internacional e intersectorial, y la difusión y aplicación de los resultados. En este sentido, la investigación y el desarrollo del conocimiento deben ir acompañados de una comunicación efectiva para tener éxito (Sousa, 2016).

Yousefpour *et al.* (2017) concluyen que las estrategias de manejo forestal adaptativo deben al menos apuntar a mantener la provisión actual de bienes y servicios de los ecosistemas forestales, y brindar una oportunidad para implementar estrategias de prevención contra el aumento de los daños a los bosques causados por factores con alto impacto regional (*e.g.* incendios y plagas). También, señalan que la resiliencia de los bosques al cambio climático se mejorará mediante el fomento de la diversidad en diferentes niveles, por ejemplo, manejo forestal adaptativo y adaptación genética. Esto comienza con una mejor consideración de la diversidad genética en las estrategias de manejo adaptativo, pero se aplica también a la combinación de diferentes estrategias de manejo a escala del paisaje y la consideración de enfoques alternativos de toma de decisiones.

## CAPITULO 7. CONCLUSIONES

Las medidas para garantizar la adaptación de los bosques son compatibles y a menudo idénticas a las prácticas de Manejo Forestal Sustentable establecidas para satisfacer las necesidades económicas, sociales y ambientales de las partes interesadas.

El manejo forestal sustentable proporciona un marco conceptual y operativo sólido para construir resiliencia en los bosques de México. Los esquemas de manejo forestal aplicados en México, tienen la oportunidad de incorporar la visión del manejo forestal adaptativo con base en la función ecosistémica de los bosques y con perspectiva de cambio climático, a través de los estudios de vulnerabilidad, resiliencia y monitoreo de los ecosistemas forestales. Las experiencias de manejo de ecosistemas en México (Manantial y MAPA) muestran las posibilidades de aplicación de estos conceptos en el manejo forestal en el país.

Ninguna de las estrategias de adaptación al cambio climático es nueva, de hecho son estrategias generales aceptadas, por lo tanto el nuevo requerimiento para su aplicación es el cambio de perspectiva de los manejadores forestales para la aplicación de las estrategias establecidas.

De acuerdo con las posturas nacionales e internacionales se identifica un desequilibrio entre la valoración sobre los impactos del cambio climático y las medidas de adaptación puestas en práctica en el terreno, y para enfrentar los desafíos del cambio climático, es importante proporcionar capacidades y apoyo al sector forestal; por lo tanto, se debe facilitar el fortalecimiento de capacidades y mejorar la relación entre la investigación y el manejo forestal, para asegurar la transferencia del conocimiento de manera práctica.

Como parte de las acciones se necesita fortalecer las funciones esenciales del manejador para centrar su actuar en promover la recuperación del bosque, tras la extracción de la madera y otros productos gracias al mantenimiento de las propiedades del ecosistema en el tiempo (ciclo de corta, edad de cosecha o turno) e incorporando la visión del manejo de recursos naturales considerando los efectos al ecosistema.

Cada una de las herramientas de adaptación disponibles, debe aplicarse considerando las condiciones cambiantes en regímenes, ecosistemas y especies, además de expandir la escala

espacial y temporal de planificación y manejo; además, se requiere buscar la restauración del funcionamiento ecosistémico, en lugar de la composición de especies, promover un manejo adaptativo “activo” con planificación basada en escenarios, priorización de acciones en especies y procesos de mayor interés.

Existen varios temas que desde el punto de vista personal deben considerarse en los distintos esquemas de regeneración de los bosques, uno de ellos es el desarrollo de genotipos adaptables a un comportamiento cambiante del clima; el análisis de escenarios para incidencia de plagas y enfermedades, la aplicación de tratamientos con enfoques adaptativos, la legislación flexible para nuevos escenarios, considerando desde los bosques bajo aprovechamiento hasta los programas de reforestación y restauración forestal.

Una mejor conciencia de los conceptos de adaptación entre los miembros de la comunidad de manejo forestal, puede promover por sí misma, la capacidad de adaptación de los ecosistemas forestales de manera más amplia. Un aspecto fundamental es compartir las lecciones aprendidas entre los proyectos para mejorar y aumentar los esfuerzos de implementación de la adaptación de los bosques al cambio climático, en especial con los países de América con mayor avance en el tema como son Estados Unidos y Canadá.

## CAPITULO 8. LITERATURA CITADA

- Aguirre, C. O. (2015). Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y Bosques* 21: 17-28.
- Anderson, P., Palik, B. (2011). *Silvicultura para el Cambio Climático*. (Octubre, 2011). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Centro de Recursos del Cambio Climático. Recuperado de:  
[www.fs.usda.gov/ccrc/temas/silvicultura/silvicultura-para-el-cambio-climatico](http://www.fs.usda.gov/ccrc/temas/silvicultura/silvicultura-para-el-cambio-climatico). el 26 de febrero de 2019.
- Braatz, S. (2012). Building resilience for adaptation to climate change through sustainable forest management. Forestry Department, FAO. Rome. pp. 117-127.
- Bray, D., Barry D., Madrid, S., Merino, L., Zúñiga, I. (2010). El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático: Las Comunidades nos muestran el camino. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS), Iniciativa para los Derechos y Recursos (WRI). Editorial Punto Verde Consultores S.C.; Impreso en Monterrey N.L. Noviembre de 2010 21 pág. Recuperado el 14 de junio de 2019 en [http://www.ccmss.org.mx/descargas/manejo\\_forestal\\_sostenible\\_rri\\_ccmss.pdf](http://www.ccmss.org.mx/descargas/manejo_forestal_sostenible_rri_ccmss.pdf)
- Castaños, M. L.J y Castro, Z. S. (2014). Manejo forestal, Reserva Forestal Multifuncional “El Manantial” SC. Conceptos, conductas y acciones. Zapopan, Jalisco: CONAFOR-PNUD, 221p.
- Collaborative Partnership on Forests; Asociación de Cooperación en Materia de Bosques- ACB (2012). El Manejo Forestal y la Adaptación al Cambio Climático. Boletín Informativo sobre MFS. [www.cpfweb.org/32906-0e991170a52b1393b9933a0d00cd5a720.pdf](http://www.cpfweb.org/32906-0e991170a52b1393b9933a0d00cd5a720.pdf)
- CONAFOR, (2014). Programa Institucional de la CONAFOR 2014-2018. Diario Oficial de la Federación.
- CONAFOR, (2017). Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal 2017-2030, Zapopan, Jalisco, CONAFOR 119 p.
- Connell, J. H., and R. O. Slatyer, (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* III: III9-III44.
- Edwards J.E. & Hirsch, K.G. (2012). Adapting sustainable forest management to climate change: preparing for the future. Canadian Council Forest Ministry, Ottawa, ON. 32 p.
- Fahey, R., Alveshere, B., Burton, J. D'Amato, A., Dickinson, Y. Keeton, W., Kern, Ch., Larsonf, A., Palik, B., Puettmann, K., Saunders, M., Webster, Ch., Atkins, J., Gough, Ch. & Hardiman, B. (2018). Shifting conceptions of complexity in forest management and silviculture. *Forest Ecology and Management* 421: 59–71  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.011>
- Fajardo, A. J. J., (2006). Contribución de técnicas de manejo del paisaje al SICODESI en el programa de manejo forestal, “El llanito, Buenavista y 3 predios más” del municipio de Atenguillo, en el Estado de Jalisco. (Tesina Maestría Tecnológica). Colegio de Postgraduado, Montecillo Texcoco Estado de México. 151 p.

- FAO. (2010). La Gestión de los bosques ante el cambio climático. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, 20 p.
- FAO. (2011). El Cambio Climático para los responsables de políticas forestales, un enfoque para la integración del Cambio Climático en los Programas Forestales Nacionales en apoyo a la Ordenación Forestal Sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. páginas
- FAO. (2013). Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Estudio FAO Montes N ° 172. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. 109 p.
- FAO. (2016). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo? Segunda edición. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. (Disponible en [www.fao.org/3/a-i4793s.pdf](http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf)).
- FAO. (2018). El Estado de los Bosques del Mundo: Las vías forestales hacia el Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. (Disponible en <http://www.fao.org/3/I9535ES/i9535es.pdf> ).
- FAO. (2018a). Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS), Módulo Restauración y Rehabilitación de Bosques. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. consultado el 23 de febrero de 2019 en <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-restoration-and-rehabilitation/basic-knowledge/es/>.
- Fernández M., J.F. y Benito G. M. (2015). El debate de la migración asistida en los bosques de Europa Occidental, capítulo 41: 463-468.
- Gavilán, R. G. 2008. La vegetación de alta montaña. In Avances en biogeografía, M. Redondo, M. Palacios, F. López, T. Santamaría y D. Sánchez (eds.). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geografía e Historia, Madrid. pp. 165-174
- Grumbine, R.E. (1994). What is ecosystem management?. Conservation Biology 8: 27-38.
- Gutiérrez, E. y Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85: 179-188, DOI: 10.7550/rmb.37737
- Halofsky, J.E, Andrews-Key, S., Edwards, J., Johnston, M., Nelson, H., Peterson, D., Schmitt, K., Swanston, K., & Williamson, T. (2018). Adapting forest management to climate change: The state of science and applications in Canada and the United States. Forest Ecology and Management 421: 84–97
- Hernández R, J., García M. J., Muñoz, F. J., García, C. X., Saénz R, T., Flores L. C., Hernández R. A. (2014). Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht et Cham en Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4(19): 62-77.
- Hernández S. J. (2014) Ordenación Forestal, Curso Regional de Regulación, Manejo y Salud Forestal. SEMARNAT, CONAFOR, PROFEPA. Chihuahua, Chih, 3 de septiembre de 2014. 79 pp.

- Hewitt N, Klenk N, Smith A., Brazely D, Yan N, Wood S, MacLellan JI, Lipsig-Mumme C, Henriques I (2011). Taking stock of the assisted migration debate. *Biological Conservation* 144: 2560–2572.
- Holling, C.S. (1973). Resilience and stability of ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1-23
- IPCC. (2013). Cambio Climático 2013: Bases físicas, contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Resumen para responsables de políticas. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 34 p.
- IPCC. (2018). An IPCC Special Report on the impact of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, Summary for policy maker. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 32p.
- INEGI. (2016). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/> descargada el 19 de febrero de 2019.
- Lawler, 2009, Climate Change Adaptation Strategies for Resource Management and Conservation Planning, College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, Washington. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1162 (2009): 79–98.doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04147.
- Lindner, M., M. Maroschek, S. Netherer, A. Kremer, A. Barbati, J. García G., R. Seidl, S. Delzond, P. Corona, M. Kolström, M. J. Lexerand, M. J. Lexer and M. Marchetti, (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259 (4): 698–709.
- López, H. J.A, Aguirre C. O. A., Alaniz, R. E., Monarrez G. JC., González T. M.A., y Jiménez P. J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques* 23 (1): 39-51.
- Martínez, S. M y Quiñonez B. G. (2015), Diagramas de Manejo de la Densidad con modelación de Regresión Frontera Estocástica para mezcla de especies de la UMAFOR 0807 Guachochi, Chihuahua. Manual Técnico. Gobierno del Estado de Chihuahua. 53 pp.
- Mendizábal H. L. C., Márquez R. J, Alba L. J., Cruz J. H., Ramírez G. E.O., (2008). Cambio Climático y Comunidades Forestales. *Foresta Veracruzana*. 10 (2): 49-56.
- Mendoza B.M, Fajardo A.JJ. & Zepeta, J. (2005). Landscape based in forest management, a real word case study from Mexico. *Forest Ecology and Management*. 209: 19-26.
- Mora D. C.A y Alanís R. E., (2016). Resiliencia de bosques de pino – encino en América: Una visión global del estado actual, *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(33), 01-02. Recuperado de: [www.revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/download/2571/2356](http://www.revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/download/2571/2356).
- Nagel, Linda M.; Palik, Brian J.; Battaglia, Michael A. ; D'Amato, Anthony W.; Guldin, James M.; Swanston, Christopher W.; Janowiak, Maria K.; Powers, Matthew P.; Joyce, Linda A.;

- Millar, Constance I.; Peterson, David L.; Ganio, Lisa M.; Kirschbaum, Chad; Roske, Molly R. (2017). Adaptive silviculture for climate change: a national experiment in manager-scientist partnerships to apply an adaptation framework. *Journal of Forestry* 115(12). doi 10.5849/jof.16-039
- Ordoñez D. J.A. B. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias* 90 (abril-junio, 2008): 37-42 Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=64411395006>
- Pretzsch, H. & Schütze G. (2014). Size-structure dynamics of mixed versus pure forest stands Chair for Forest Growth and Yield Science. Centre of Life and Food Sciences Weihenstephan. Technische Universität München. Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz, Freising, Germany, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). *Forest Systems* 23(3): 560-572.  
<http://dx.doi.org/10.5424/fs/2014233-06112>
- Ramírez, M.H. (2017). Manual para la elaboración de programas de manejo forestal maderable en clima templado frío. Zapopan, Jalisco. Comisión Nacional Forestal. 134 p.
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt G. E., Crookston, N.L. Duval, P., Beaulieu, J. & Richardson B. A. (2010). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climate Change* 102: 595-623. doi 10.1007/s10584-009-9753-5
- Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Joyce, D. G., Beaulieu, J., Bradley, J. St. C., & Jaquish, B. C., (2016). Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 22 (3): 303-323. doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.10.052
- Salafsky, N., Margoluis, R., & Redford, K., (2001). Adaptive Management: A Tool for Conservation Practitioners. Washington, D.C.: Biodiversity Support Program. Adaptive Management: [http://www.fosonline.org/Adaptive\\_Management1.cfm](http://www.fosonline.org/Adaptive_Management1.cfm)
- Secretaría de Gobernación [SEGOB], (2018). DECRETO por el que se expide la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Ciudad de México, Diario Oficial de la Federación, 5 de Junio de 2018. Consultado el 14 de junio de 2019 en:  
[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5525247&fecha=05/06/2018](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525247&fecha=05/06/2018)
- SEMARNAT. (2010). Marco de políticas de adaptación de mediano plazo. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 55 pp
- SEMARNAT. (2016). Cómo afecta el cambio climático a México. Publicación electrónica disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/como-afecta-el-cambio-climatico-a-mexico>; consultado el 22 de mayo de 2019.
- SEMARNAT. (2018). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México 2018. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- SEMARNAT. (2018a) Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI). Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. México 2018.
- SEMARNAT. (2018b). Reportaje Expo Forestal 2018: La visión de Desarrollo Sustentable Revista Nuestro Ambiente 27: 16-25
- Sousa-Silva, R., Ponette, Q., Verheyen, K., Herzele, A. & Muys, B. (2016). Adaptation of forest management to climate change as perceived by forest owners and managers in Belgium. *Forest Ecosystems* 3:22 DOI 10.1186/s40663-016-0082-7
- Sousa-Silva, R, Verbist, B. Lomba, A., Valent, P., Suškevičs, M., Picard, O., Hoogstra-Klein, M. Cosofret, V., Bouriaud, L., Ponette, Q., Verheyen, K. & Muys, B. (2018). Adapting forest management to climate change in Europe: Linking perceptions to adaptive responses. *Forest Policy and Economics* 90: 22–30.  
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.004>
- Thompson, I. (2011). Biodiversity, ecosystem thresholds, resilience and forest degradation. *Unasylva* 238(62): 25-30.
- Vanegas L. M. (2016). Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333“ Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. México.158 p.
- Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas, J., Aguirre-Calderón, O., Nagel, J. (2010) Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro7. *Madera y Bosques* 16(4): 81-104.
- Walker, B. and Salt, D. (2006) *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Island Press, Washington, D.C. páginas
- Walters, C. J. (1986). *Adaptive management of renewable resources*. MacGraw-Hill & New York, 376 p.
- Williams, (2016). Planning de future’s forests with assisted migration.  
[https://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_journals/2016/rmrs\\_2016\\_williams\\_m002.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs_journals/2016/rmrs_2016_williams_m002.pdf)
- WRI Bosques (2018). Iniciativa 20X20. consulta electrónica en <https://news.globallandscapesforum.org/es/28405/la-iniciativa-20-x-20-insta-a-un-mejor-acceso-a-fondos-climaticos-financiamiento-privado-para-la-restauracion-de-tierras/http://iki-alliance.mx/portafolio/supporting-initiative-20-by-20-country-led-effort-to-bring-20-million-hectares-of-degraded-land-in-latin-america-and-the-caribbean-into-restoration-by-2020/>
- Yousefpoor, R., C. Temperli, J. B. Jacobsen, B. J. Thorsen, H. Meilby, M. J. Lexer, M. Lindner, H. Bugmann, J. G. Borges, J. H. N. Palma, D. Ray, N. E. Zimmermann, S. Delzon, A. Kremer, K. Kramer, C. P. O. Reyer, P. Lasch-Born, J. Garcia-Gonzalo, and M. Hanewinkel. (2017). A framework for modeling adaptive forest management and decision making under climate change. *Ecology and Society* 22(4):40.  
<https://doi.org/10.5751/ES-09614-220440>