



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



MANEJO FORESTAL Y ALMACENES DE CARBONO EN EL EJIDO EL TELAR, COATEPEC HARINAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

NORMA MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

DIRECTORAS DE TESIS:

DRA. BELINA GARCÍA FAJARDO

DRA. EN G. MARÍA ESTELA OROZCO HERNÁNDEZ

SEPTIEMBRE 2016

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su apoyo y cariño incondicional. Porque todo parece más fácil si están conmigo. Por todo.

A mis amigos, por ser parte importante en mi vida y acompañarme en el trabajo de campo.

A mi Universidad, a mis compañeros y especialmente a mis Directoras, por sus consejos, comprensión y paciencia.

ÍNDICE

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
HIPÓTESIS.....	9
OBJETIVOS	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA	10
Recurso forestal	10
Importancia de los recursos forestales	11
Presiones	13
Efecto invernadero y cambio climático	14
Ciclo del carbono	17
Captura de carbono en bosques	18
Investigaciones sobre Captura de Carbono.....	21
Manejo forestal	27
Silvicultura	29
Sistemas silvícolas	30
Silvicultura comunitaria	33
Manejo Forestal Sustentable.....	36
Apoyo institucional.....	37
Manejo forestal y almacenes de carbono. Consideraciones	40
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	42
Ejido El Telar, Coatepec Harinas.....	42
Aspectos físicos	44
Aspectos socioeconómicos.....	46
Metodología en campo.....	48
Estimación de los almacenes de carbono	48
Manejo forestal	53
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	55

Captura de carbono	55
Parte aérea.....	55
Parte subterránea	58
Manejo forestal	60
Organización de los ejidatarios.....	61
Aprovechamiento forestal no maderable	63
Aprovechamiento forestal maderable	64
Caracterización de las prácticas de manejo	67
Programas.....	71
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	75
Captura y almacenes de carbono	75
Manejo forestal	77
Prácticas silvícolas y almacenes de carbono.	79
CONCLUSIONES.....	88
REFERENCIAS	89
ANEXOS	95
Anexo 1. Buenas prácticas de manejo forestal.....	95
Anexo 2. Carbono almacenado en madera	98

Índice de imágenes

IMAGEN 1. CICLO DEL CARBONO.	18
IMAGEN 2. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LOS FLUJOS Y ALMACENES DE CARBONO EN UN ECOSISTEMA FORESTAL.....	20
IMAGEN 3. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL DESARROLLO DE LA BIOMASA (V) EN FUNCIÓN DE LA EDAD Y DEL TIEMPO PARA TRES DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO FORESTAL.	28
IMAGEN 4. PARA REDD+, UN BOSQUE MANEJADO ES MEJOR QUE UN BOSQUE CONSERVADO SIN MANEJO.....	41
IMAGEN 5. EJIDO EL TELAR, COATEPEC HARINAS.	43
IMAGEN 6. BOSQUE DEL EJIDO EL TELAR.	46
IMAGEN 7. DISEÑO DEL MUESTREO JERÁRQUICO ANIDADO.	51
IMAGEN 8. IGLESIA UBICADA EN EL TELAR.	62
IMAGEN 9. PAVIMENTACIÓN DE CAMINOS.....	62
IMAGEN 10. ESCUELAS DE NIVEL BÁSICO EN EL TELAR.	62
IMAGEN 11. CARGA DE LEÑA PARA EJIDATARIOS DEL EJIDO EL TELAR.	63

IMAGEN 12. ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN EL TELAR.	65
IMAGEN 13. PASTIZALES DENTRO DEL EJIDO.....	65
IMAGEN 14. MAQUINARIA EMPLEADA DURANTE LA EXTRACCIÓN DE LOS PRODUCTOS.	70
IMAGEN 15. BRECHA CORTAFUEGO EN EL EJIDO EL TELAR.	71
IMAGEN 16. PROGRAMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS.	73

Índice de tablas

TABLA 1. BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES.....	12
TABLA 2. GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SUS CARACTERÍSTICAS.	15
TABLA 3. INVESTIGACIONES SOBRE CAPTURA DE CARBONO.....	22
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ACTIVIDADES O TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS.	31
TABLA 5. BENEFICIOS SOCIALES Y AMBIENTALES DEL MFC.	34
TABLA 6. NIVELES DE PARTICIPACIÓN EN EL MANEJO DE LOS BOSQUES COMUNITARIOS...	35
TABLA 7. COMPONENTES DE LOS APOYOS PRONAFOR 2015.	39
TABLA 8. SERVICIOS CON LOS QUE CUENTAN LAS VIVIENDAS DEL EJIDO EL TELAR.	47
TABLA 9. POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA EN EL TELAR.....	47
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO.....	49
TABLA 11. ECUACIONES ALOMÉTRICAS EMPLEADAS.	51
TABLA 12. DIÁMETRO DE LOS ÁRBOLES MUESTREADOS.....	56
TABLA 13. ALMACENES DE CARBONO EN EL BOSQUE DE PINO DEL EJIDO EL TELAR, COATEPEC HARINAS (MGC HA ⁻¹).	60
TABLA 14. CALENDARIO DEL APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS FORESTALES NO MADERABLES EN EL TELAR.....	63
TABLA 15. ACTIVIDADES CONTEMPLADAS EN EL PROGRAMA DE MANEJO FORESTAL.....	64
TABLA 16. ACTIVIDADES SILVÍCOLAS LLEVADAS A CABO EN EL TELAR.....	67
TABLA 17. PROGRAMAS EN LOS QUE HA PARTICIPADO EL EJIDO EL TELAR.	72
TABLA 18. RELACIÓN ENTRE PRÁCTICAS SILVÍCOLAS Y CAPTURA DE CARBONO.	80

Índice de gráficas

GRÁFICA 1. CAPTURA DE CARBONO EN LA BIOMASA ARBÓREA.....	56
GRÁFICA 2. COMPOSICIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.	57
GRÁFICA 3. CAPTURA DE CARBONO EN HERBÁCEAS.....	57
GRÁFICA 4. CAPTURA DE CARBONO EN MANTILLO.....	58
GRÁFICA 5. CAPTURA DE CARBONO EN SUELO.....	58
GRÁFICA 6. CAPTURA DE CARBONO EN RAÍCES FINAS.	59
GRÁFICA 7. CAPTURA DE CARBONO EN EL BOSQUE DE PINO DEL EJIDO EL TELAR, COATEPEC HARINAS.	59

RESUMEN

El problema de la deforestación acentúa la concentración de GEI en la atmósfera, y con ello el cambio climático global. Aunado a esto, se observa la constante demanda de recursos forestales, y con ello, la necesidad de manejar los bosques para fines no sólo de conservación, sino de aprovechamiento. Por ello, es necesario comprender la importancia del manejo de los bosques, ya que éstos brindan ingresos económicos, y prestan servicios ambientales, como la captura de carbono.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar las prácticas silvícolas de manejo forestal y su repercusión en los almacenes de carbono aéreo y subterráneo del bosque en el ejido El Telar, Coatepec Harinas. Para ello, se realiza una revisión de los conceptos clave en relación a la captura de carbono, y manejo forestal. La metodología emplea el método de caso de estudio, localizado en el ejido El Telar, Coatepec Harinas. Además, se realiza una caracterización del ejido, considerando aspectos del medio biofísico, social y económico. Posteriormente, se describen los métodos empleados para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea del bosque, en esta parte se describe el diseño del muestreo jerárquico anidado y el trabajo en laboratorio realizado en los dos sitios de muestreo: BP de Referencia (sin intervención desde hace aproximadamente 30 años) y BP Manejado (bajo ciclo de corta en el 2010). Para obtener información sobre el manejo forestal, se describen los instrumentos realizados a los actores clave y para complementar dicha información se consulta el Programa de Manejo Forestal del ejido.

Los resultados muestran que el bosque de pino del ejido, almacena en el sitio BP de Referencia 363.97 MgC ha⁻¹ y 290.88 MgC ha⁻¹ en el BP Manejado, siendo el suelo el almacén más grande y las herbáceas y arbustivas el más pequeño. Además, se observa que todas las actividades silvícolas tienen impactos positivos o negativos en el proceso de captura. Siendo las actividades relacionadas con la Regeneración, las que tienen mayor peso sobre los almacenes de carbono.

Los apoyos de los programas gubernamentales son parte de las acciones de manejo e influyen de manera indirecta en la captura y almacenes de carbono. Gracias a características clave de la silvicultura comunitaria como la organización, participación y seguimiento de los proyectos de los actores internos (ejidatarios), y al trabajo conjunto con actores externos, ha sido posible obtener beneficios ambientales y económicos que ayudan al desarrollo local.

INTRODUCCIÓN

Los bosques proporcionan a la población un sin fin de beneficios: sociales, económicos y ambientales, en ese sentido, los denominados servicios ambientales del bosque cumplen una función vital dentro de los ecosistemas y en especial para el beneficio del hombre.

Sin embargo, las áreas forestales del Estado de México son vulnerables a fuertes presiones derivadas de las actividades humanas como el cambio de uso del suelo, la tala ilegal y los incendios provocados, los cuales ocasionan la pérdida y degradación de la cubierta vegetal y del suelo, problemas que propician la emisión a la atmosfera del carbono, Gas de Efecto Invernadero (GEI) capturado en los bosques.

En este contexto, se observa la necesidad de desarrollar investigaciones respecto a los bosques y en especial en relación a su aprovechamiento, ya que la constante demanda de recursos forestales y la falta de manejo y planificación en su uso, continuarán siendo causa de la degradación y disminución de los bosques. Por ello, es preciso llevar a cabo un manejo forestal integral que busque la conservación de los ecosistemas y la obtención de beneficios para la población que lo aprovecha, considerando la captura de carbono como un referente sobre el estado de los bosques y la viabilidad para obtener ingresos económicos de él.

En el presente trabajo de investigación, se tiene como principal objetivo analizar las prácticas silvícolas de manejo forestal y su repercusión en los almacenes carbono aéreo y subterráneo del bosque en el ejido El Telar, Coatepec Harinas.

En el Capítulo uno se presenta el marco de referencia, donde se aborda la importancia de los recursos forestales y los conceptos básicos sobre la captura de carbono y el manejo forestal. En relación a la captura de carbono, se describe el efecto invernadero y el cambio climático con la finalidad de dar un contexto sobre la importancia del carbono, su ciclo, su dinámica en los bosques y los almacenes donde se encuentra.

En este capítulo, también se explica el contexto general del manejo forestal, la silvicultura y las actividades o tratamientos que se realizan en los bosques y que influyen en los almacenes de carbono. Se mencionan otros conceptos clave como el Manejo Forestal Comunitario y el Manejo Forestal Sustentable,

además, se hace referencia al apoyo institucional que se da a los propietarios de los bosques para el cumplimiento de sus objetivos.

En el Capítulo dos, se detalla la metodología empleada en la investigación, para ello, se desarrolla una caracterización del ejido El Telar, considerando aspectos del medio biofísico, social y económico, para poder presentar el contexto en el cual se lleva a cabo el manejo del bosque. Posteriormente, se describen los métodos empleados para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea del bosque, en esta parte se describe el diseño del muestreo jerárquico anidado y el trabajo en campo y gabinete realizado para obtener las estimaciones de los almacenes de carbono. Además, para obtener información sobre el manejo forestal, se describen los instrumentos (entrevistas) realizados a los actores clave involucrados directamente en el manejo del bosque, es decir, a los integrantes de la mesa ejidal y a la promotora forestal, para complementar dicha información se consultó el Programa de Manejo Forestal del ejido.

Dentro del Capítulo tres, se presentan los resultados obtenidos en la investigación, es decir, la cantidad de carbono almacenado por estrato del bosque, en general, se hace una comparación entre los dos sitios de muestreo: el Manejado (bajo ciclo de corta en el 2010), y el de Referencia (sin intervención desde hace aproximadamente 30 años) para poder observar las diferencias entre cada uno de ellos. También se muestran los resultados sobre el manejo del bosque y se presenta información sobre la forma de organización de los ejidatarios, los productos forestales no maderables y maderables obtenidos, las actividades de manejo establecidas en el Programa y sus características, así como los beneficios y apoyos que reciben para llevar a cabo el manejo del bosque.

En el Capítulo cuatro, se realiza la discusión de resultados, donde se hace una comparación de las estimaciones de carbono obtenidas con otras investigaciones similares, además, se analizan las principales causas relacionadas al manejo del bosque que tienen efectos en los almacenes de carbono.

Posteriormente, se presentan las conclusiones generales del trabajo de investigación, y por último, se muestran las referencias consultadas.

Finalmente, es importante mencionar que el presente trabajo de investigación se deriva del proyecto "Cambios de uso de suelo por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México. Impactos locales y emisiones globales de GEI" (No. de registro: 107956 CONACYT), donde se llevaron a cabo muestreos para determinar la captura de carbono en

zonas de pendiente y con diferentes usos del suelo, siendo El Telar uno de los sitios muestreados.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático y la deforestación son problemas que van de la mano y tienen consecuencias tanto en el ámbito local como el global. Según la CONAFOR (2012a) se estima que en el país el 50% de la superficie con vegetación es susceptible a los efectos del cambio climático, fenómeno que podría alterar el ritmo de crecimiento de los árboles e influir en la frecuencia de incendios y plagas (FAO, 2013).

Por su parte, la deforestación ocasionó durante el periodo 2005-2010, la pérdida anual de 155 mil hectáreas, con lo cual México se posiciona como el único país miembro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), donde los bosques siguen reduciéndose. (SEMARNAT, 2013). Esta deforestación acentúa la concentración de GEI en la atmosfera, y con ello el cambio climático global.

Aunado a este problema, se observa una constante demanda de recursos forestales, y con ello, la necesidad de manejar los bosques para fines no sólo de conservación y protección, sino con el objetivo de realizar un aprovechamiento, y así poder satisfacer las necesidades actuales, crear fuentes de empleo y disminuir problemas como la sobreexplotación, la degradación y la deforestación.

En este contexto, es necesario comprender la importancia del manejo de los bosques, ya que éstos brindan a las comunidades ingresos económicos, y prestan a la población servicios ambientales como: oxígeno, regulación de la temperatura, retención de agua, y la captura de carbono, siendo este último, una estrategia de mitigación ante el cambio climático.

En esta investigación se eligió como área de estudio el ejido El Telar, ubicado en el municipio de Coatepec Harinas. El ejido recibe el apoyo de pago por servicios ambientales, y parte de la superficie forestal está sujeta al aprovechamiento maderable. Ambas acciones son estrategias para hacer frente al cambio climático, a través del proceso de conservación y aprovechamiento del bosque.

Por tal motivo, la zona es idónea para identificar si las prácticas silvícolas de manejo incrementan la captura y de carbono en la biomasa y los suelos del

ecosistema forestal, ya que se piensa que el carbono almacenado en los bosques y encapsulado en los productos maderables, es mayor que el carbono que puede capturarse en zonas forestales destinadas exclusivamente a la conservación, donde no se realiza ningún tipo de manejo (CCMSS, 2012).

HIPÓTESIS

Los bosques manejados para el aprovechamiento de recursos maderables almacenan más carbono en biomasa y suelo que los bosques destinados a la conservación, debido a que prácticas silvícolas como las reforestaciones y las cortas, incrementan los almacenes.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar las prácticas silvícolas de manejo forestal y su repercusión en los almacenes de carbono aéreo y subterráneo del bosque en el ejido El Telar, Coatepec Harinas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contextualizar la problemática en estudio a través de la revisión de los referentes teóricos y empíricos sobre el manejo forestal y la captura de carbono.
- Estimar los almacenes de carbono en biomasa y suelo en el ecosistema forestal.
- Caracterizar las actividades de manejo forestal del bosque en el ejido y las formas de organización de los ejidatarios para el aprovechamiento y distribución de tareas y responsabilidades en el manejo del bosque.
- Determinar la relación entre las prácticas de manejo y los almacenes de carbono en biomasa y suelo.

CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA

RECURSO FORESTAL

Los ecosistemas forestales son de gran importancia para mantener la dinámica y el equilibrio del planeta, además de ser sustento para el ser humano al proveerle un sinnúmero de beneficios desde el punto de vista económico, social y ambiental, esto cobra vital importancia si consideramos que aproximadamente el 31% de la superficie terrestre tiene cubierta forestal (FAO, 2010a).

En este sentido, México es un país privilegiado, ya que a causa de su ubicación geográfica, relieve, tipos de climas y ecosistemas, cuenta con una gran diversidad, la CONAFOR (2001) estima que la cubierta forestal de bosques y selvas en el país, asciende aproximadamente a 55.3 millones de hectáreas.

De manera particular, la heterogeneidad del Estado de México le otorga una gran riqueza biológica, la cual comprende la cuarta parte de las especies de plantas y animales del país. Además, las características físicas del Estado de México permiten que se establezcan diferentes coberturas vegetales. De acuerdo con el Inventario Forestal (SEDAGRO, 2010), el estado tiene una superficie de 2,248,762 hectáreas, de las cuales 1,087,812 hectáreas tienen cubierta forestal, entre las que se puede encontrar: tular, pradera, selvas bajas caducifolias, mezquital, pastizal, matorral, bosques de oyamel, bosques de cedro, bosques mesófilos de montaña, bosques de encino y bosques de pino, que en conjunto representan el 48% de la superficie total del estado.

De estos ecosistemas se obtienen los denominados recursos forestales, que han sido definidos como *"la vegetación de los ecosistemas forestales, sus servicios, productos y residuos, así como los suelos de los terrenos forestales y preferentemente forestales"* (LGDFS, 2003:6). Es decir, los recursos forestales comprenden cualquier servicio o bien proveniente de estos ecosistemas, ya sean maderables (vegetación leñosa) o no maderables (como musgos, líquenes, hongos, resinas, suelos forestales, entre otras).

Cabe mencionar que según la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) la vegetación forestal es *"El conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y*

semiáridas, y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales” (LGDFS, 2003:8). Por otro lado, los bosques, objeto de estudio de este trabajo de investigación, se definen como las “tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ” (FAO, 2010b:7).

IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS FORESTALES

La importancia de estos recursos y de los bosques puede observarse desde diversos puntos de vista, dentro del aspecto social se pueden considerar temas relacionados con la utilización de los recursos forestales como combustible, uso medicinal, materia prima, además de su incalculable valor alimenticio, paisajístico, recreativo y cultural. Desde la perspectiva económica, según datos reportados por la FAO (2013), los bosques son una fuente de empleo para más de 100 millones de personas en el mundo, y un medio importante de subsistencia para más de 1,000 millones, muchas de las cuales viven en condiciones de pobreza extrema.

Tan sólo en México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2014) reportó que el aprovechamiento de los recursos forestales permitió en ese año, tener una producción forestal maderable de 5.7 millones de m³r¹, de las cuales el Pino representa el 76%, esta producción maderable tiene un valor estimado en 7,033,331,232 pesos. Mientras que para el mismo año, la producción forestal no maderable fue de 89.7 miles de toneladas con un valor de 565,142,406² pesos. Esto deja al sector forestal con un 0.3% del valor del PIB nacional y muestra que aunque se tienen ganancias del sector en el país, estas son relativamente bajas al considerar la superficie forestal con la que cuenta.

Por otra parte, la importancia ambiental de los ecosistemas forestales, radica principalmente en los servicios ambientales que ofrecen, por ejemplo, la generación de oxígeno, la regulación del clima, la provisión de agua de calidad, la captura de contaminantes y de carbono (LGDFS, 2003).

En la *Tabla 1* se presenta a modo de resumen, los bienes y servicios de los ecosistemas forestales (ya sean de abastecimiento, regulación o culturales), así como la función que desempeñan.

¹ m³r = metros cúbicos de madera en rollo

² La producción forestal no maderable y el valor total no incluyen la tierra de monte (equivalente a 81,703 toneladas con un valor de 36,512,915 pesos). (SEMARNAT, 2014).

TABLA 1. BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES.

Función	Bien o Servicio
Regulación de la composición química atmosférica	Regulación de gases.
Regulación de la temperatura global, la precipitación y otros procesos biológicos mediados por el clima a niveles local y global.	Regulación del clima
Amortiguamiento e integridad de los ecosistemas en respuesta a las fluctuaciones ambientales.	Regulación de disturbios
Regulación de flujos hidrológicos.	Regulación del agua.
Almacenamiento y retención de agua.	Provisión de agua.
Retención del suelo dentro de un ecosistema.	Control de la erosión y retención de los sedimentos.
Proceso de formación de suelos	Formación del suelo.
Almacenamiento, ciclaje interno, procesamiento y adquisición de nutrientes	Ciclaje de nutrientes.
Movimientos de gametos de la flora.	Polinización.
Regulaciones tróficas dinámicas de las poblaciones.	Control biológico.
Hábitat para poblaciones residentes y pasajeras.	Refugio.
Porción de la producción primaria bruta extraíble como comida	Comida.
Porción de la producción primaria bruta extraíble como materia prima.	Materias primas.
Fuente de materiales y productos biológicamente únicos.	Recursos genéticos.
Ofrecimiento de oportunidades para actividades recreativas	Recreación.
Ofrecimiento de oportunidades para usos no comerciales.	Valores estéticos, artísticos, científicos entre otros.

Fuente: Olguín, 2001.

PRESIONES

A pesar de la gran importancia de los ecosistemas forestales, éstos siguen sometidos a crecientes presiones y amenazas que ponen en riesgo la calidad, cantidad y permanencia de la cubierta forestal en el país. Estas presiones pueden ser tanto naturales como producidas por actividades humanas, siendo estas últimas las que causan mayores problemas.

Según la SEMARNAT (2006) dentro de los principales factores derivados de las actividades antropogénicas que amenazan los ecosistemas y la diversidad, se encuentran el cambio de uso del suelo, el crecimiento demográfico, la infraestructura, la sobreexplotación, el uso ilegal, los incendios forestales, y el cambio climático global.

Específicamente para los recursos forestales, la principal causa de presión es el cambio de uso del suelo (a agrícola, pecuario o urbano), que ocasiona la disminución de la cobertura vegetal y la fragmentación del hábitat (INECC, 2000), misma que de acuerdo al INECC (2009) hace referencia a la disminución y destrucción parcial del hábitat original, afectando negativamente la biodiversidad de éste.

Otro problema es la deforestación, es decir, la pérdida de grandes extensiones de árboles o la eliminación total de la vegetación forestal (INECC, 2009), este problema tiene como principales causas la ganadería extensiva, la agricultura, los incendios forestales, la construcción de caminos, la minería, la extracción de petróleo, y la tala ilegal (INECC, 2000), estos factores en conjunto son los principales responsables del proceso de deforestación del país, que de acuerdo a estimaciones reportadas por la SEMARNAT (2013) se calculó anualmente en 155 mil hectáreas, durante el periodo 2005-2010.

Respecto a los incendios forestales, la SEMARNAT (2013) menciona entre las causas más frecuentes para el año 2011 las actividades relacionadas con el sector agropecuario (36.3%), seguidas por las fogatas (13%), y aquellas provocadas por los fumadores (11.7%).

Por otro lado, la sobreexplotación (en muchos casos selectiva) de Productos Forestales Maderables (PFM) y Productos Forestales No Maderables (PFNM), puede tener efectos negativos en las poblaciones, y con ello en la composición y estructura de los bosques de donde son extraídos, (CONABIO, 2010), volviéndolos más propensos a plagas, las cuales son consideradas como una causa de disturbio, especialmente en los bosques templados (SEMARNAT, 2013).

Además, de acuerdo a las estadísticas de sector forestal reportadas por la SEMARNAT (2014), el consumo nacional aparente de productos forestales fue de 19.2 millones de m³r para el 2014, mientras que la producción forestal fue de 5.7 millones de m³r. Esto equivaldría únicamente al 29.6% del consumo total, por lo que se observa un déficit para cubrir la demanda de dichos productos en el país.

Finalmente, una de las presiones crecientes para los bosques del mundo, es la relacionada con los efectos adversos asociados al cambio climático, fenómeno que de acuerdo a la FAO (2013) podrían alterar los ritmos de crecimiento de los árboles, influir en la frecuencia e intensidad de incendios y plagas forestales, además de elevar los daños por condiciones climáticas extremas como las inundaciones y las sequías.

Ante este contexto, se puede deducir que las áreas forestales del país y del Estado de México, se ven sometidas a fuertes presiones derivadas principalmente de las actividades humanas, las cuales ocasionan la pérdida y degradación de la cubierta vegetal y el suelo, problemas que entre otras cosas, propician la emisión a la atmosfera de GEI.

EFEECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO

Actualmente, problemas ambientales como el efecto invernadero y el cambio climático, son de los temas que más preocupan a la población y a los gobiernos, por lo que se han convertido en ejes principales de investigación y políticas tanto a nivel nacional como internacional, por tener efectos en las condiciones del medio local y global.

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, éste se define como *"el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables"* (UNFCCC, 1992:6).

Es importante aclarar que el clima en sí es dinámico, y que a través de la historia ha sufrido variaciones significativas a tiempos geológicos, no obstante, la CONAFOR (2012a) aclara que el principal problema que trata de describir el cambio climático es la velocidad con la que se da este cambio, y cómo el ser humano influye y acentúa este proceso, especialmente con la excesiva emisión de GEI a la atmosfera.

Por otra parte, es necesario entender que el efecto invernadero es un proceso natural, que se realiza gracias a que los GEI presentes en la atmósfera permiten que parte de la radiación solar sea absorbida en la superficie de la Tierra, mientras que la demás es reflejada al espacio exterior.

De acuerdo con la CONAFOR (2012a) los principales GEI son: vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozono (O₃), además de perfluorocarbonos (PFCs), hidrofluorocarbonos (HFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Los GEI son los componentes gaseosos de la atmósfera, ya sean naturales o antropogénicos, que tienen como principal característica el absorber y reemitir esta radiación (UNFCCC, 1992), es decir, los GEI son los responsables de mantener temperaturas medias en el planeta, al absorber parte del calor y regresarlo a la superficie de la Tierra, pues de lo contrario, la temperatura promedio sería congelante.

Según Kapp *et al.* (s/f) estos gases contribuyen en diferente medida al proceso de calentamiento del planeta, por ejemplo, *el bióxido de carbono es responsable del 55%*, mientras que los CFCs aportan el 24%, los óxidos nitrosos el 6% y el metano el 15%. Esto se debe, entre otras cosas, a que no todos los gases tienen el mismo tiempo de permanencia en la atmósfera, ni son emitidos en las mismas cantidades, como lo muestra la *Tabla 2*.

TABLA 2. GASES DE EFECTO INVERNADERO Y SUS CARACTERÍSTICAS.

Variable	CO₂ (Dióxido de carbono)	CH₄ (Metano)	N₂ O (óxido nitroso)	HFC-23 (hidrofluoro carbono 23)	CF₄ (perfluoro metano)	SF₆ (hexafluoruro de azufre)
Concentración periodo previo a la industrialización (1750)	280 ppm	700 ppm	270 ppm	0	40 ppm	0
Concentración en 1998	365 ppm	1745 ppm	314 ppm	14 ppb	80 ppb	4.2 ppb
Tasa cambio en concentración	1.5 ppm/año	7.0 ppm/año	0.8 ppm/año	0.55 ppb/año	1 ppb/año	0.24 ppb/año
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	5-200	12	114	260	>50,000	3,600

Forzamiento radiativo (W/m ²)	1.46	0.48	0.15	0.002	0.003	0.002
Potencial de calentamiento Global, PCG	1	23	296	12,000	5,700	22,200

*ppmm= partes por mil millones en volumen. ppb= partes por billón en volumen

Fuente: Homero y Gasca, 2004.

Como la capacidad de calentamiento de los gases es diferente, se usa la expresión CO₂ equivalente (CO₂ e), lo cual significa que los gases se pueden convertir en una cantidad equivalente de CO₂ y así usar unidades homogéneas. (CONAFOR, s/f). De acuerdo a la SEMARNAT (2013) se usa el CO₂, por ser considerado uno de los gases más importantes, por el volumen en que es emitido, por su larga vida, su forzamiento radiativo y el incremento de su concentración en la atmosfera.

Si bien, los GEI son emitidos de manera natural, su concentración en la atmosfera aumenta como consecuencia de las actividades humanas, entre las que destacan la generación de energía, las actividades industriales, y la deforestación; siendo esta última la tercera fuente de emisión de GEI en el mundo con un 17%. Esto se debe a que los bosques almacenan alrededor de 289 gigatoneladas³ de carbono, y su destrucción ocasiona la reincorporación a la atmosfera de dichos gases (SEMARNAT, 2013).

Según la SEMARNAT (2013), en México las emisiones asociadas al cambio de uso de suelo forestal se calculan en 7,189,000 toneladas de CO₂ anuales, por lo que la perdida de vegetación y suelo forestal significa un incremento considerable de estos gases en la atmosfera.

Una de las estrategias para mitigar el cambio climático y disminuir la concentración de GEI en la atmosfera, es la captura de carbono, proceso explicado por la CONAFOR de la siguiente manera:

"Las plantas son organismos que producen su propio alimento mediante la fotosíntesis. Durante dicho proceso, absorben el dióxido de carbono presente en la atmósfera y liberan oxígeno, por lo que son los organismos encargados de realizar la "captura de carbono" en un ecosistema. Este carbono queda almacenado como biomasa en los árboles, el suelo, la hojarasca y la madera muerta" (CONAFOR, 2015a).

³ 1Gt es igual a mil millones de toneladas métricas

Según Montoya *et al.* (1995) esta captura de carbono puede darse de dos formas; conservando las existencias de carbono almacenado en el recurso forestal, o con el establecimiento de nuevos reservorios a través de la reforestación.

CICLO DEL CARBONO

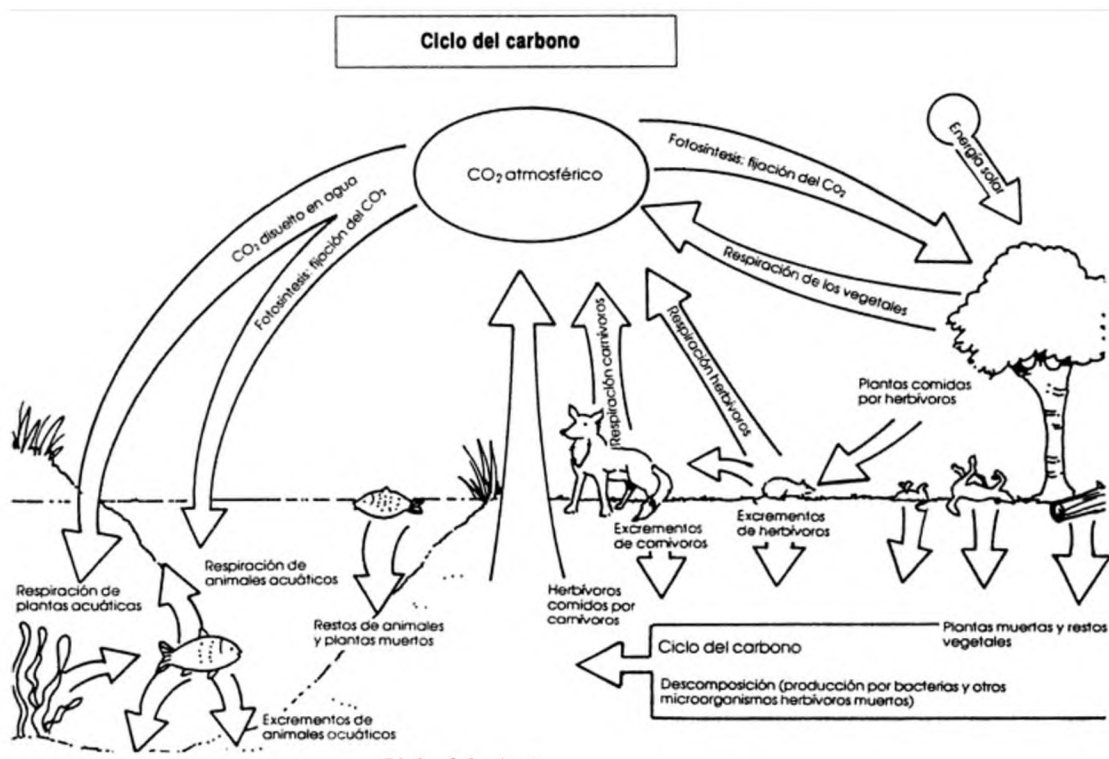
El carbono es uno de los elementos más comunes en la naturaleza y se encuentra prácticamente en todos lados. Para entender el proceso de captura de carbono en sistemas forestales, es necesario comprender la dinámica del carbono y su ciclo, el cual consiste según la CONAFOR (2012a) en una serie de cambios a lo largo del tiempo por los cuales pasa el carbono, y que puede dividirse en dos ciclos:

1. Ciclo biológico: el carbono es retenido a través de la fotosíntesis⁴ en las plantas, para posteriormente ser reincorporado a la atmósfera por la respiración, quema y descomposición.
2. Ciclo biogeoquímico: transferencia de carbono entre la atmósfera y la litosfera

En la *Imagen 1* se puede observar este ciclo, así como los diversos flujos (movimientos), procesos e interacciones que se llevan a cabo entre los diferentes elementos del sistema. Por ejemplo, se calcula que el carbono presente en los océanos es 50 veces mayor al que se encuentra en la atmósfera (Falkoski *et al.*, 2000, en Velázquez, 2012), además, la biosfera terrestre es considerada el reservorio biológico más significativo, pues el carbono almacenado en la vegetación y en el suelo, es tres veces mayor a la que se encuentra en la atmósfera, con quien se intercambia a través de los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición (Watson, 2000 en Velázquez, 2002).

⁴ La fotosíntesis es la producción de glucosa, a partir de energía solar, agua y dióxido de carbono. Se compone de dos procesos o etapas: de luz o fotoquímica (forma moléculas de energía y necesita energía de la luz solar) y la oscura o bioquímica (usa moléculas de energía para producir, con el bióxido de carbono, moléculas de carbohidratos; que ocupa la planta para su desarrollo). (CONAFOR, 2008). Ecuación:
$$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{energía lumínica} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$$

IMAGEN 1. CICLO DEL CARBONO.



Fuente: Gutiérrez *et al.*, 1998.

Gallardo (2009) menciona que la importancia del ciclo del carbono radica en que es un ciclo energético, ya que captura energía potencial a través de la fotosíntesis, para posteriormente ser liberada produciendo CO₂⁵.

Actualmente, las concentraciones mundiales de CO₂ en la atmósfera siguen en aumento, de acuerdo al IPCC (2007) pasaron de 280 partes por millón (ppm) antes de la revolución industrial, a 379 ppm en el 2005, siendo la principal causa el uso de combustibles fósiles.

CAPTURA DE CARBONO EN BOSQUES

Como se puede observar, el ciclo del carbono es de gran importancia para mantener la vida en el planeta, además, durante su dinámica lleva acabo la captura de carbono, que según Ordóñez y Masera (2001) se da cuando la vegetación, al realizar la fotosíntesis, asimila, incorpora y fija en su estructura carbono atmosférico, pudiendo llegar a almacenarlo por grandes periodos de

⁵ El dióxido de carbono o bióxido de carbono (CO₂), se genera cuando el carbono se convierte en gas. Entonces, una molécula de carbono (C) se combina con dos moléculas de oxígeno (O) presentes en el aire y se convierte en el CO₂ (CONAFOR, s/f).

tiempo. Es decir, la vegetación reduce la concentración del CO₂ en la atmósfera, mitigando con ello el efecto invernadero y el cambio climático global.

Este proceso es de gran importancia, a tal grado que se considera que los bosques capturan más carbono que otros sistemas terrestres, al participar en el 90% del flujo anual de este elemento entre la atmósfera y la superficie de la tierra. (Montoya *et al.*, 1995). Además, la FAO (2010a) estima que el carbono almacenado en los ecosistemas forestales, es mayor que todo el carbono que se encuentra en la atmósfera.

La fotosíntesis, es en este sentido un mecanismo esencial para el proceso, al permitir que la vegetación capte energía y acumule carbono en su estructura. Para que posteriormente, la madera y los productos derivados de ésta sigan almacenando el carbono (FAO, 2012).

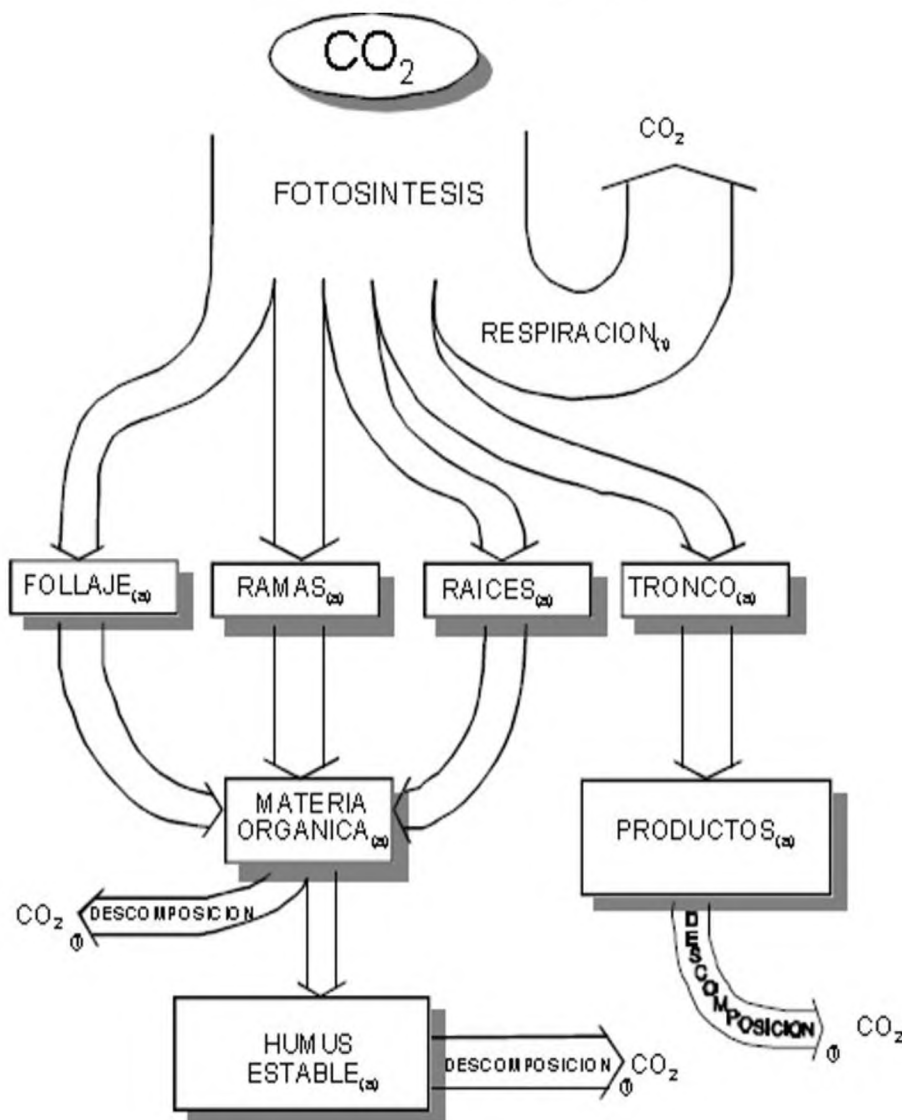
Se dice que el carbono estará almacenado en los árboles, el tiempo que se encuentre siendo parte de su estructura. Después de esto, será remitido a la atmósfera o el suelo, ya sea por la descomposición de la materia orgánica o la quema de biomasa, continuando con su ciclo (Ordóñez, 2008). Por ello, Velázquez (2012) afirma que la producción forestal influye en el flujo del carbono en forma de CO₂, a través de procesos de fijación y emisión.

De acuerdo con Etchevers *et al.* (2005), la estimación de almacenes o reservorios de carbono debe incluir la fijación en la parte aérea y subterránea de los sistemas forestales. La parte aérea se conforma por: árboles, mantillo u hojarasca, arbustos y hierbas; y la subterránea: por el suelo.

En la *Imagen 2*, Ordóñez y Masera (2001) presentan los flujos y almacenes de carbono que se dan en los ecosistemas forestales, se pueden observar como almacenes el follaje, las ramas, raíces, tronco (y los productos que se derivan de él), así como la materia orgánica y el humus estable presentes en el suelo. En resumen, el carbono queda contenido en:

- Vegetación
- Materia orgánica
- Suelos (al quedar organismos vegetales en la roca madre expuesta y quedar almacenado el carbono con el proceso de depositación, y por la formación de suelo nuevo).
- Productos forestales (Ordóñez y Masera, 2001).

IMAGEN 2. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LOS FLUJOS Y ALMACENES DE CARBONO EN UN ECOSISTEMA FORESTAL.



Fuente: Ordóñez y Masera, 2001.

El Carbono Orgánico del Suelo (COS), es el componente principal de la Materia Orgánica del Suelo (MOS⁶). De acuerdo con Martínez *et al.* (2008) el COS se encuentra en forma de residuos orgánicos de vegetales, animales, microorganismos, y en forma de humus. Según la FAO (2002), en condiciones aeróbicas, una parte del carbono que ingresa al suelo es lábil y se mineraliza rápidamente, mientras que una pequeña fracción (1%) se acumula como

⁶ MOS: conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999 en Martínez *et al.*, 2008).

humus estable. El CO₂ emitido por el suelo es producto de esta mineralización y por el metabolismo de las raíces de las plantas.

Es decir, los procesos que aumentan el COS son: producción de biomasa, la humificación, la agregación y la descomposición de sedimentos. Mientras que los que la disminuyen son: erosión, lixiviación y la descomposición de la materia orgánica. En estos procesos el carbono es emitido como CO₂, o bien, se integra al suelo en forma de ácidos húmicos, fúlvicos y huminas (Vela, 2009).

Por lo anterior, se muestra que los bosques juegan un papel fundamental para la mitigación de los efectos del cambio climático, ya sea a través de su conservación y con ello la conservación de los actuales reservorios, con la captura de CO₂ durante el crecimiento de los bosques, o bien, con la repoblación de sistemas forestales. En cualquier caso, Bravo *et al.* (2007) señalan que los bosques almacenan CO₂ cuando están en crecimiento, pero que dejan de hacerlo cuando son adultos y han alcanzado su estado de madurez, además, para optimizar la captura es necesario implementar técnicas de gestión forestal.

Como se puede observar, la captura y almacén de carbono es difícil de cuantificar, sin embargo, algunos autores como Ordóñez y Masera (2001) sugieren que para tener un mayor conocimiento de este proceso, es necesario considerar la captura unitaria del carbono (Ct⁷), la cual consiste en estimar el carbono contenido en diferentes almacenes; carbono contenido en la vegetación (Cv), en la materia orgánica en descomposición (Cd), en los suelos (Cs), en productos forestales (Cp) y el carbono ahorrado por no utilizar combustibles fósiles, aunque este último no es un proceso de captura, ni un almacén (Cf).

INVESTIGACIONES SOBRE CAPTURA DE CARBONO

En las últimas décadas la comunidad científica se ha dado a la tarea de estimar el carbono que es capturado y almacenado por los sistemas forestales, muchas de estas estimaciones se basan en las investigaciones y metodología presentada por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en Inglés) que desde su fundación en 1988, ha trabajado para dar respuesta a este problema, realizando junto con otras organizaciones, un análisis de las causas, consecuencias y estrategias para mitigar sus efectos.

⁷ Ct = Cv + Cd + Cs + Cp + Cf. Es decir, el Carbono total fijado más el ahorrado.

A continuación se presentan algunas investigaciones sobre captura de carbono, así como sus principales aportes respecto a los métodos y resultados, las cuales se posicionan como antecedente directo de este trabajo.

TABLA 3. INVESTIGACIONES SOBRE CAPTURA DE CARBONO.

Autor	Título	Características y Métodos	Resultados
Ordóñez <i>et al.</i> (2001).	Almacenamiento de carbono en un bosque de <i>Pinus pseudostrobus</i> en Nuevo San Juan, Michoacán.	Se usó el modelo CO ₂ Fix Windows versión 1.2. para estimar la captura potencial de carbono. Se hicieron análisis de parámetros como: tiempo de vida de los productos, tasas de humificación y descomposición. Además, se emplearon datos sobre la superficie de la zona de estudio, el manejo forestal, el crecimiento del árbol y los productos derivados.	El carbono estimado a largo plazo (250 años) fue de 217 tC/ha. La biomasa fue de 74 tC/ha, los productos de 49 tC/ha y el suelo de 94 tC/ha. Siendo un potencial para todo el bosque de 1.9 MtC. El estudio considera de gran importancia el uso de este modelo como herramienta en el manejo de plantaciones.
Acosta <i>et al.</i> (2001).	Un método para la medición del Carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e Inducida en Terrenos de Ladera en México.	Para determinar el Carbono en la biomasa aérea se determinaron cinco parcelas de muestreo de 100m ² (4x25m). Con un submuestreo para medir biomasa en hojarasca o mantillo (de 1m ²), hierbas y arbustos (0.25m ²). Para el estrato arbóreo se consideraron árboles con un diámetro mayor a 2.5cm de DAP, para después aplicar ecuaciones alométricas.	Se determinó el carbono almacenado en diferentes sistemas vegetales. Para un bosque de liquidámbar en la Región Mazateca (103 Mg.ha ⁻¹), en un bosque de encino en la Región Cuicateca (52 Mg.ha ⁻¹), en un acahual de diez años de la Región Mixe (33 Mg.ha ⁻¹), praderas de las regiones mazateca y Cuicateca (7 y 8 Mg.ha ⁻¹) y un acahual de dos años (14 Mg.ha ⁻¹).

Autor	Título	Características y Métodos	Resultados
Figueroa <i>et al.</i> (2010).	Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de <i>Pinus patula</i> Schltdl. et Cham. En Zacualtipán, Hidalgo.	El sitio de muestreo se encuentra con un Plan de manejo forestal bajo el sistema silvícola de "Árboles padres". La determinación de la biomasa arbórea se realizó aplicando ecuaciones simultáneas de biomasa por regresión (generadas) y con datos de inventario.	Se determinó que la biomasa arbórea aumento a una tasa de 6.7 Mg ha ⁻¹ en 25 años. En general, la acumulación de biomasa tuvo un patrón creciente respecto de la edad del rodal. El rodal intervenido en 1982 (de mayor edad) tuvo 166.6 Mg ha ⁻¹ de biomasa acumulada, similar a un área que no ha sido intervenida con 184.03 Mg ha ⁻¹ . Además, se observó que la mayor parte de la biomasa se concentró en el fuste del árbol (36 a 85%).
Álvarez <i>et al.</i> (2013).	Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la sierra Norte de Oaxaca, México.	Se consideraron almacenes aéreos y subterráneos en cinco comunidades de bosque montano en la Sierra Norte de Oaxaca. A través de un muestreo jerárquico anidado, considerando las siguientes variables: Carbono en biomasa arbórea, estrato herbáceo y arbustivo, material leñoso muerto, mantillo, raíces finas y suelo mineral	Un factor importante para explicar las diferencias de carbono fue la altitud. Es decir, el Carbono acumulado entre los 1500 y 2500 msnm fue de 440 y 420 Mg ha ⁻¹ , mientras que el Carbono almacenado entre 1950 y 2400 msnm fue 354 Mg ha ⁻¹ . Dando un promedio de Carbono en biomasa y suelo para bosques montanos de niebla de 384.16±40.13 Mg ha ⁻¹

Autor	Título	Características y Métodos	Resultados
Velázquez (2012).	Efecto del cambio de la cobertura vegetal sobre la captura de carbono en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Estado de México y Michoacán.	Se realizaron muestreos a partir del diseño anidado propuesto por Ordóñez en el 2002, con parcelas circulares de 1000m ² , colectando suelo a 30cm dentro de la parcela en cuadrados (3) de 50 cm. Para la parte aérea se consideró el estrato arbóreo con DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) mayor a 2.5 cm. Se consideraron bosques de Oyamel, de Pino sin perturbaciones durante el periodo de 1971 al 2010 y bosques de Pino con diferentes edades de recuperación.	Los resultados sobre carbono orgánico en el suelo (COS) muestran que el Bosque de Oyamel captura 269 Mg/ha y en biomasa aérea 193 Mg/ha. El Bosque de Pino: COS de 241.3 Mg/ha y aérea de 151.6 Mg/ha y finalmente, en el Bosque de Pino con recuperación de 55 años el COS fue de 302 Mg/ha. También se determinaron otros parámetros como Nitrógeno total, CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico, humedad aprovechable). Se observó que el cambio de bosque a cultivo modifica la capacidad de almacenar carbono en orgánico en el suelo, así como otras propiedades químicas y físicas en el suelo, ocasionando la reducción de su calidad y de la dinámica del ecosistema.

Autor	Título	Características y Métodos	Resultados
Quiroz (2013).	Medición de la captura de carbono en suelos forestales, en la localidad de Cebatí, San José del Rincón, Estado de México.	Se eligieron cuatro sitios de muestreo correspondientes a las siguientes especies: pino, oyamel, encino y cedro. Además de un sitio con pastizal para observar cambios ocasionados por el cambio de uso de suelo. Se abrieron perfiles y se tomaron muestras de cada uno de los horizontes. De cada muestra se determinó la Densidad Aparente (DA), Densidad Real (DA), humedad, pH y contenido de materia orgánica (MO) para posteriormente estimar el carbono en el suelo con la NOM-021-SECNAT-2000.	La cantidad de carbono capturado en el suelo de acuerdo a la especie fue; encino 196.367 t C/ha, cedro 172.776 t C/ha, pino 141.501 t C/ha, oyamel 138.493 t C/ha y finalmente el suelo con pastizal presentó 179.497 t C/ha. Además se observó que el almacenamiento de carbono en el suelo es mayor a los primeros 25 centímetros de profundidad en todos los casos.
Fragoso (2003).	Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancítaro Michoacán México	Se eligió el diseño de muestreo sistemático, con sitios circulares de 1,000 m ² , trazando líneas equidistantes de 140 x 140 m. Se muestrearon 169 sitios cubriendo un total de 16.9 ha. Se seleccionaron tres árboles representativos del sitio para determinar su edad e incremento. Además, se hicieron los siguientes cálculos: Existencias Reales	El contenido de carbono en biomasa fue para <i>Abies religiosa</i> 15, 800 tC, <i>Pinus pseudostrobus</i> 5, 433 tC, <i>Quercus laurina</i> 3,040 tC y para una agrupación de hojosas 367 tC, dando un total de 24, 640 tC. Considerando las características del bosque se propone un plan de manejo, bajo el Método Mexicano

		Totales (ERT) y el Incremento Corriente Anual (I.C.A) con el método de Loetsch para determinar el potencial de carbono capturado. Se hizo una proyección a diez años.	de Ordenación de Bosques Irregulares. Con las técnicas de manejo adecuadas se supone un aumento potencial de carbono de 1.65 tC/ha/año.
Franco, 2009	Estimación de la captura de carbono en zonas forestales. El caso del Parque Nacional Nevado de Toluca	Con ayuda de información dasométrica obtenida en los 126 sitios de muestreo, se aplicaron ecuaciones alométricas para estimar el carbono en la biomasa, y así obtener los índices de contenido de carbono por hectárea, para las 30 categorías de cobertura forestal dentro del Parque reportadas en el año 1972 y 2000. Una vez obtenido el carbono, se determinaron las emisiones o captura total derivada del cambio de cobertura entre estos años. Finalmente se obtuvo el potencial de captura de carbono.	Los índices promedio de contenido de carbono por categorías de densidad del arbolado fueron: para Oyamel Denso 163.60 MgC/ha, oyamel Semidenso 101.30 MgC/ha, Oyamel Fragmentado 31.56 MgC/ha, Cedro Denso 192.70 MgC/ha, Cedro Semidenso 95.83 MgC/ha, Cedro Fragmentado 47.96 MgC/ha, Pino Denso 123.50 MgC/ha, Pino Semidenso 71.58 MgC/ha, Pino Fragmentado 26.82 MgC/ha, Latifoliadas Denso 173.90 MgC/ha, Latifoliadas Semidenso 90.57 MgC/ha y Latifoliadas Fragmentado 37.35 MgC/ha.

Fuente: Elaboración propia.

MANEJO FORESTAL

Actualmente, es necesario realizar un manejo de los bosques para evitar que éstos se conviertan en fuentes cada vez más grandes de emisiones de GEI, al tiempo que puedan satisfacer la constante demanda de productos forestales, y permitan seguir obteniendo los bienes y servicios del bosque, todo esto a través de prácticas que aceleren el proceso natural de crecimiento sin que esto signifique su depredación o degradación.

Dicho manejo forestal se ha desarrollado atendiendo a diferentes objetivos, según Valdez, (s/f) en un primer momento, se considera que no hay manejo del bosque cuando sólo se realiza una explotación sin ningún tipo de regulación, y que atiende básicamente a fines de autoconsumo.

Posteriormente, al tratar de regular las actividades de explotación para satisfacer la demanda a temporalidades más largas se lleva a cabo la institucionalización de la actividad forestal, mediante instrumentos políticos y legales. Una vez logrado este punto, se empezaron a implementar prácticas silvícolas donde se busca manejar el bosque atendiendo bases ecológicas. En la actualidad, ante los requerimientos ambientales y de calidad, se procura implementar un manejo forestal y silvícola sano, donde el aspecto social cobra importancia (Valdez, S/f).

El manejo forestal es entendido de diferentes maneras, Murillo (2009), lo describe como *"Una actividad que incorpora prácticas de conservación, aprovechamiento y restauración"*, por su parte, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, que es la encargada de regular las actividades relacionadas con este sector en México, ofrece una definición más completa al considerar al manejo forestal 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 merme la capacidad productiva de los ecosistemas y recursos existentes en la misma" (LGDFS, 2003: 5).

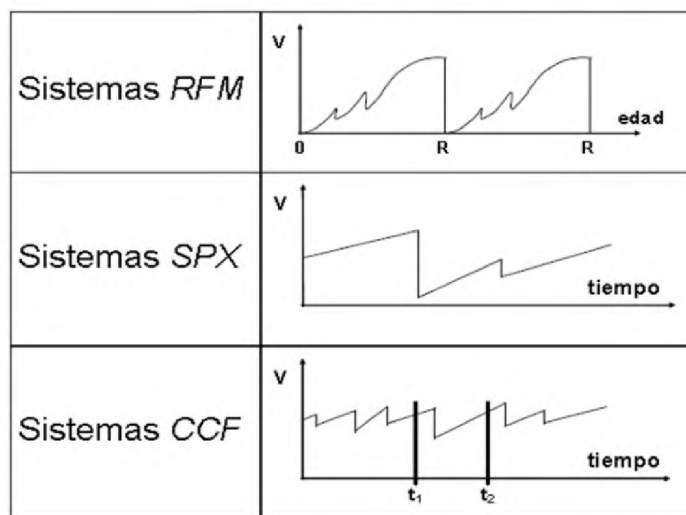
Este concepto no considera el factor social explícitamente, es decir, el punto de vista de quien ha de manejar el bosque. Sin embargo, el manejo forestal está encaminado hacia la sustentabilidad y hacia el manejo forestal comunitario, donde se busca involucrar activamente a los propietarios del bosque en las actividades desarrolladas.

Desde los años 50, BRASSNET (1953) señalaba que el manejo forestal es un conjunto de decisiones donde se aplican cuestiones referentes a la ciencia, la tecnología y la economía. En la década de los 90s, Aguirre (1997) considera que el manejo es una actividad muy compleja, pues involucra a diferentes sectores de la sociedad y a equipos de trabajo multidisciplinarios, que trabajan con la finalidad de mejorar el proceso de la toma de decisiones y de cumplir con los objetivos planteados para cada lugar.

Por su parte, Gadow *et al.* (2004) consideran que el manejo de los recursos forestales debe cumplir con ciertas funciones, razón por la cual debe procurarse realizar un manejo apegándose lo más posible a bases científicas. En este sentido, propone una clasificación simple de los sistemas de manejo:

1. *De turno o rotación (Sistemas RFM): son de los sistemas más comunes y se adecuan a una silvicultura estándar.*
2. *De explotación esporádica (Sistemas SPX): su principal característica es la extracción de los árboles más valiosos en periodos de tiempo irregulares.*
3. *De cubierta forestal continua (Sistemas CCF): en éstos se realizan cortas selectivas (Gadow *et al.*, 2004).*

IMAGEN 3. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL DESARROLLO DE LA BIOMASA (V) EN FUNCIÓN DE LA EDAD Y DEL TIEMPO PARA TRES DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO FORESTAL.



Fuente: Gadow *et al.*, 2004.

En la imagen anterior se denota la diferencia entre los diversos sistemas de manejo por el desarrollo de la biomasa, la cual cambiará dependiendo del lapso de tiempo considerado. Por ello, Gadow *et al.* (2004) señalan que es

vital que el manejo forestal sea adaptativo, ya que el desarrollo de la masa forestal es dinámico e incierto

SILVICULTURA

Dentro de las cuestiones forestales, se han desarrollado ramas que tienen como finalidad establecer criterios mínimos para llevar a cabo prácticas de manejo forestal adecuadas, que se encaminen al aprovechamiento de los bosques. Tal es el caso de la silvicultura, rama de la ciencia forestal que según Musálem y Fierros (1996) busca producir bienes y servicios, a través de la aplicación de cuestiones ecológicas y fisiológicas en los bosques.

De acuerdo a la LGDFS la silvicultura es: "*La teoría y práctica de controlar el establecimiento, composición, constitución, crecimiento y desarrollo de los ecosistemas forestales para la continua producción de bienes y servicios*" (LGDFS, 2003:7). En otras palabras, la silvicultura es entendida como el cultivo del bosque, y una de sus principales contribuciones, es la búsqueda de las actividades o tratamientos adecuados para cada sitio, con la finalidad de acelerar el crecimiento y establecimiento de los bosques, a través de la aplicación de cuestiones ecológicas.

Algunos de los objetivos que Musálem y Fierros (1996) señalan para justificar la intervención silvícola son para control de la composición, de la densidad, de la estructura, de la duración del turno de un bosque, o bien, para su protección, recuperación o para la conservación de su calidad.

Al conjunto de prácticas, también llamadas tratamientos o actividades silvícolas, que se realizan en un bosque para mantenerlo, regenerarlo, protegerlo y hacerlo crecer, se le denomina **sistema silvícola** (Musálem y Fierros, 1996), y tiende a elegirse dependiendo de las características y objetivos deseados para cada rodal (Valdez, s/f). Se entiende por rodal (unidad primaria de manejo) a la "*Parte de un bosque con características uniformes en cuanto a calidad de sitio, composición de especies, clases de edad, espesura, etc.*" (Musálem y Fierros, 1996).

La importancia de la rodalización de un sistema, es encontrar aquellas características que diferenciarán a un rodal de otro, en cuanto a sus características físicas, sus especies, y el bien o servicio buscado. Sin embargo, es un proceso complicado, pues según Gadow *et al.* (2004) aquello que puede ser bueno para un rodal individual, no significa que sea lo más adecuado para el paisaje en su conjunto.

Cabe señalar, que el turno o rotación, es el periodo o momento justo (por edad o tamaño) en que se considera más conveniente cortar un árbol o el rodal, ya que realizar cortas antes o después del estado de madurez deseado (económica o biológicamente) puede ser un signo de mal manejo (Musálem y Fierros, 1996).

Por esta razón, Gayoso y Acuña (1999) consideran que las actividades realizadas en los bosques deben ser planificadas, para poder reducir los impactos negativos a largo plazo, asegurando la productividad del lugar y los servicios que brinda. Por ello, actualmente la LGDFS fomenta la organización entre los propietarios forestales para mejorar las prácticas silvícolas, procurando que éstas cuiden la biodiversidad, y así puedan ser más sustentables.

SISTEMAS SILVÍCOLAS

Según Musálem y Fierros (1996) en un sistema silvícola se pueden aplicar un conjunto de tratamientos o actividades silvícolas, las cuales clasifican en tres categorías:

- 1. Métodos de regeneración: tratamientos del rodal y sitio, en el periodo de establecimiento de la regeneración. Se le denomina regeneración al momento en que hay que sustituir árboles viejos en el rodal, y a los nuevos árboles que comienzan a desarrollarse. En este momento se realizan cortas de regeneración; para quitar los árboles viejos y para crear mejores condiciones en el medio para que se establezcan nuevos.*
- 2. Cuidados o cortas intermedias: tratamientos al rodal durante el turno. Su finalidad de mejorar el rodal y regular su crecimiento. Las cortas pueden ser: aclareos, cortas de liberación, de mejoramiento o podas.*
- 3. Protección: acciones para prevenir y controlar agentes destructivos en el bosque, como patologías o incendios. Se realizan cortas de recuperación para rescatar el valor por los árboles dañados.*

Antes de elegir un sistema silvícola, y una vez que se conocen las características de cada bosque, sus productos y su capacidad productiva, el siguiente paso es la elección de un método de manejo para ordenar el bosque, considerando la cantidad que se desea aprovechar, la superficie donde se hará y los mejores tratamientos para mantener la producción. Existen diversos métodos, como el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), Sistema Silvícola de Selección (SISISE) y el Sistema Silvícola de Cortas a Matarrasa (SICOMA). Sin embargo, según Gerez y Purata (2008) en México se utilizan principalmente tres:

- En Bosques templados; el Método de Desarrollo Silvícola o MDS y el Método Mexicano de Ordenación de Montes o MMOM;
- En los bosques tropicales o selvas; el Método de Selección con Diámetro Mínimo de Corta.

Una vez seleccionado el método de manejo más apropiado para el bosque, se determina el tipo de tratamientos a seguir, y por consecuencia, las cortas que se llevarán a cabo. En la *Tabla 4*, se presentan de manera general las características de las principales actividades realizadas en los sistemas silvícolas.

TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ACTIVIDADES O TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS.

Actividad	Características
Preparación del sitio	Consiste en llevar a cabo actividades como el manejo de desperdicios después de la extracción, la realización de quemas controladas y la fertilización. Las quemas controladas, se realizan para evitar incendios de copa y fuegos muy calientes, y para ayudar a que las cortas de regeneración sean efectivas dejando expuesto el suelo para el establecimiento del renuevo.
Tratamientos intermedios	En general, se realizan para tener un buen desarrollo de los árboles, y que se pueda tener calidad en los productos. Su objetivo es controlar la composición, densidad y estructura de los rodales bajo manejo silvícola. Incluyen las cortas, limpias y podas.
Liberación	Las cortas de liberación, están dirigidas a la regulación de la composición y el mejoramiento de rodales muy jóvenes. Este tratamiento se realiza en arboles viejos que fueron dejados antes o después del periodo de regeneración.
Limpias	Al igual que la liberación, consiste en la eliminación de árboles y vegetación herbácea o arbustiva que amenaza con suprimir a rodales jóvenes de árboles deseables que no han rebasado la etapa de brinzales. La diferencia con las cortas de liberación radica en la edad, tamaño y la vegetación que se elimina. Ambas actividades reducen la competencia en rodales jóvenes. También se conoce como chaponeo, a la remoción de arbustos y hierbas.
Corta de mejoramiento, recuperación y	Se realizan en rodales de mayor edad. Estas cortas permiten utilizar volúmenes que de otra forma se perderían (muerte o mala calidad). Permite seleccionar a los árboles más sanos para su cosecha final. El principal

saneamiento	objetivo de las cortas de saneamiento es evitar que las plagas o enfermedades se propaguen entre los rodales.
Poda	Estas cortas involucran únicamente ramas. Su finalidad es ayudar a obtener madera de alta calidad libre de nudos, especialmente cuando se busca obtener trozas para madera serrada.
Aclareo	Son cortas dirigidas hacia el control del crecimiento, a través de la regulación de la densidad. Su finalidad es acortar la rotación al permitir obtener árboles de dimensiones apropiadas en menor tiempo. Permite aumentar el valor y tamaño de los árboles en la cosecha final, y recuperar volúmenes que podrían perderse cuando la densidad es alta. Representan un ingreso económico antes de la cosecha final. Por lo general, se trata de sacar los árboles en mal estado: chuecos, enfermos, dañados. Esto permite abrir espacio para que crezcan los otros árboles y que entre más luz. Es considerado uno de los tratamientos más importantes, pues si se realiza de manera adecuada, da mayor valor económico al bosque (con más calidad).
Cortas de Regeneración	Depende de la forma de cosecha y permite iniciar el ciclo para un rodal, con una nueva generación de árboles.

Fuente: Elaboración propia con base en Musálem y Fierros (1996) y Gerez y Purata (2008).

Como se puede observar, las cortas son unas de las principales actividades, pues ayudan a controlar la vegetación y de acuerdo con Musálem y Fierros (1996), promoverán el desarrollo del bosque.

Según Gerez y Purata (2008), además de las actividades mencionadas, hay tratamientos complementarios que ayudan a cumplir los objetivos del manejo, por ejemplo:

- Escarificación de suelos: para remover el suelo orgánico y promover la regeneración de las semillas que estaban enterradas bajo la capa de hojarasca.
- Cinchamiento de árboles: para eliminar a las especies de árboles no deseadas, con poco valor económico que quitan espacio para el crecimiento.

También pueden elaborarse brechas cortafuego, que son franjas realizadas en los terrenos forestales con la finalidad de eliminar el material combustible hasta aflorar el suelo, para detener y controlar el avance del fuego en los incendios forestales (Mota, 2002).

Por otro lado, durante el manejo de un bosque es necesario cuidar las condiciones del suelo, ya que si se realiza de manera inadecuada puede ocasionar daños irreversibles en él. El daño más común es la erosión, ocasionada cuando los tratamientos se realizan sin considerar las condiciones del terreno. Otro daño, es el relacionado con la pérdida de nutrientes por escorrentía, lixiviación o por la extracción de árboles completos (Musálem y Fierros, 1996).

Otras prácticas silvícolas, se mencionan en guías sobre buenas prácticas forestales (*Ver ANEXO 1*), sin embargo, la aplicación de éstas dependerá de las condiciones del lugar, el método de manejo y los recursos con que cuenten los propietarios.

Finalmente, las actividades que deben llevarse a cabo una vez que se decide manejar un bosque, se establecen de manera formal en un instrumento de planeación llamado Programa de Manejo Forestal, el cual sirve para dirigir lo que se va a hacer durante un período corto (8 a 15 años), o largo (40 a 75), y en él que se presenta:

- Lo que hay en el bosque
- Tipo de producto que se quiere producir en el futuro
- Actividades que se deben hacer para lograrlo (Gerez y Purata, 2008).

SILVICULTURA COMUNITARIA

La SEMARNAT (2015) define la silvicultura comunitaria como *"el cultivo del bosque con la participación social de sus dueños y/o poseedores, y cuyos beneficios coadyuvan a fortalecer sus procesos de desarrollo"*. Una de sus principales características es que se lleva a cabo en territorio de uso común.

En el caso de México, se cuenta con figuras de tenencia común (ejidos y comunidades), que en conjunto poseen el 80% de la superficie forestal del país, dejando a la propiedad privada con el 15% y a la federación con el 5% (CONAFOR, 2001). Este 80% se distribuye en aproximadamente 8500 ejidos y comunidades, y abarca una población de 12 millones de habitantes, muchos de los cuales presentan altos índices de marginación.

En la tenencia de la tierra ejidal, existe un grupo de ejidatarios que poseen cierta superficie, la cual por lo general, consta de una parte individual que cada ejidatario usa principalmente para agricultura, y existe otra de uso común representada por el bosque. En los ejidos, se trata de una tenencia colectiva, la cual tiene una visión patrimonial de los recursos que además son

heredables, cada ejido tiene sus propias reglas y las propiedades comunales pueden ser manejadas de manera efectiva, con organización social y participación (Larson y Sarukhán, 2003).

Sin embargo, debido a las políticas forestales del gobierno, durante muchos años estas comunidades y ejidos tuvieron derechos limitados en el acceso a sus bosques, que eran controlados por empresas privadas y paraestatales. Segura *et al* (2003) mencionan que fue hasta la década de los setenta, en la que se suscitaron cambios en la legislación para dar oportunidad a las comunidades de manejar y administrar sus recursos para una producción comercial

Ante este contexto, se desarrolla e implementa en diferentes lugares del país el denominado Manejo Forestal Comunitario (MFC), que según Valdés y Negreros (s/f) ofrece mayores ventajas que el manejo realizado por empresas privadas o por concesiones forestales, como lo muestra la *Tabla 5*.

TABLA 5. BENEFICIOS SOCIALES Y AMBIENTALES DEL MFC.

Beneficios sociales	Beneficios ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Empoderamiento de la comunidad. • Fuentes de empleo propias. • Las ganancias derivadas de sus productos forestales son repartidas y canalizadas al mejoramiento de las condiciones de la comunidad, con la implementación de servicios e infraestructura. 	<ul style="list-style-type: none"> • La comunidad enfrenta mejor la exclusión y rivalidad por recursos comunes. • Participación, observación y monitoreo de sus recursos. <p data-bbox="766 1150 1360 1182">Si el manejo forestal es sustentable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cosecha sostenida de productos a largo plazo. • Aprovechamiento al mismo tiempo que hay servicios ambientales. • Protege la diversidad biológica.

Fuente: Elaboración propia con base en Valdés y Negreros (s/f).

Por otro lado, Gerez y Purata (2008) sugieren que el manejo forestal comunitario se puede clasificar en cuatro niveles de avance (beneficios) y participación de las comunidades, considerando el tipo de producto que venden y la organización productiva, tal como lo muestra la *Tabla 6*.

**TABLA 6. NIVELES DE PARTICIPACIÓN EN EL MANEJO DE LOS BOSQUES
COMUNITARIOS.**

Tipo 1. Sin manejo	Tipo 2. Venta en pie
<ul style="list-style-type: none"> • Ejidos y comunidades con cierta extensión de bosque o selva, pero sin un programa de manejo legal. • Cortan y cosechan productos de forma individual, para autoconsumo o venta en pequeña escala. • No hay beneficios colectivos, los ingresos familiares son muy limitados. No hay empleos formales. • Con frecuencia hay extracción clandestina de madera e incendios por la gran cantidad de desperdicios tirados en el bosque y por el fuego que se escapa de las quemas agrícolas o renovación de pastos. <ul style="list-style-type: none"> • No hay interés por controlar los incendios, ni el pastoreo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidos con suficiente bosque, pero sin organización para hacerse cargo del manejo. • Los contratistas realizan todas las gestiones desde el permiso forestal, la corta y extracción, hasta la venta, obteniendo buenas ganancias. • El ejido o comunidad recibe un pago bajo, por el volumen en pie y no se generan empleos locales. • Los beneficios económicos del bosque, son reducidos. • Generalmente se reparten los ingresos sin invertir en servicios públicos u otro beneficio colectivo.
Tipo 3. Venta en rollo	Tipo 4. Productos transformados
<ul style="list-style-type: none"> • Ejidos y comunidades que han formado empresas forestales comunitarias. • Crean empleos locales para beneficio de las familias. • Realizan todas las actividades de corta, extracción, limpieas, reforestación y venta de madera en rollo. • Reciben capacitación en técnicas de manejo del bosque, en venta y contabilidad, en gestión de proyectos ante gobierno. • Reparten las utilidades a cada ejidatario o comunero, aunque también se invierten en obras y servicios públicos para la comunidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidos y comunidades que han establecido aserraderos y fábricas para elaborar productos terminados, tales como tablas, muebles, puertas, molduras y otros. • Generan un gran número de empleos locales donde trabajan los jóvenes de la comunidad. • Cada producto terminado que se envía al mercado genera mayores ingresos económicos. • Se capacita para cubrir todos los puestos necesarios por la empresa forestal comunitaria. • Las empresas forestales ejidales o comunitarias más avanzadas están estructuradas en gerencias, con personal capacitado y dirección técnica propia.

Fuente: Gerez y Purata, 2008.

MANEJO FORESTAL SUSTENTABLE

Bajo el contexto del desarrollo sustentable, y más allá de las controversias del concepto, actualmente se busca construir un modelo de manejo de los recursos que considere aspectos sociales, económicos y ambientales. En este sentido, surge el concepto de Manejo Forestal Sustentable (MFS), mismo que ha sido definido como:

"la administración y el uso de los bosques y tierras de vocación forestal en forma e intensidad tales que se mantenga la diversidad biológica, la productividad, la capacidad de regeneración, la vitalidad y su potencial para cumplir, ahora y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales relevantes a nivel local y global, y sin causar daños a otros ecosistemas (Granholm et al. (1996 en Orozco, 2004:5).

De acuerdo con Gerez y Purata (2008) los objetivos de MFS son mantener una cosecha sostenida de los productos a largo plazo, obtener beneficios económicos para sus dueños, promover la producción de servicios ambientales para beneficio de la sociedad, y proteger la diversidad biológica de los bosques. Por ello, el MFS lleva a cabo una producción diversificada, es decir, no solo se trata de producir madera, sino otros productos (PFNM) y servicios. Además, se caracteriza porque se cosecha siempre una cantidad menor o igual al rendimiento (límite máximo de aprovechamiento), es decir, se extrae menos recurso del que se produce (Gerez y Purata, 2008).

Por su parte, Valdés y Negreros mencionan que este manejo también debe ser consensuado, racional y equitativo, y que se identifica por otros aspectos como:

- *Utilizar conocimientos tradicionales para tomar decisiones sobre los recursos pensando en el futuro de la comunidad.*
- *Contar con un programa de manejo que utiliza ciclos naturales para dirigir el crecimiento del bosque hacia una meta económica. (Valdés y Negreros, s/f:7)*

Es necesario señalar que se han definido tres principios de referencia para las acciones emprendidas en la búsqueda del MFS, estos son:

1. *La integridad de los sistemas forestales y sus funciones ecológicas deben ser mantenidos.*
2. *La capacidad productiva de los bienes y servicios comercializables de los bosques debe ser mantenida.*
3. *El bienestar socioeconómico de las comunidades asociadas debe mantenerse o incrementarse (CONICET, 2004:36).*

Finalmente, Gadow *et al.* (2004) mencionan que es posible lograr esta sustentabilidad, basada en la investigación y acorde a estándares ambientales, si se realizan las siguientes acciones: evaluar una variedad de opciones forestales, demostrar el manejo de manera comprensible en campo y evaluar continuamente las actividades de manejo en diferentes condiciones ecológicas.

Como se puede deducir, el gran reto del MFS es buscar un equilibrio, de tal manera que se puedan conservar los bosques y satisfacer las necesidades de la población actual y futura, es decir, que sea ecológicamente viable, económicamente factible y socialmente deseable. Por ello, la FAO (2012) sostiene que para salvar los bosques, es necesario transmitir la idea de realizar un manejo de manera sustentable, y aprovechar los productos y servicios que estos nos ofrecen.

APOYO INSTITUCIONAL

Para ayudar a las comunidades y en general a los propietarios de los bosques a alcanzar estos objetivos, la LGDFS a través la Secretaria del medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), conduce la política nacional para el desarrollo forestal y fomenta programas gubernamentales que brindan asesoría en cuestiones técnicas (respecto al manejo y la administración), y brindan apoyo financiero, convirtiéndose así en un pilar para la capacitación y organización de los propietarios de los bosques.

LEY GENERAL DE DESARROLLO FORESTAL SUSTENTABLE

De acuerdo con la CONABIO (2010) para lograr mantener los sistemas forestales, es necesario que se incluyan los bosques dentro de las decisiones políticas del país. Para atender esta demanda y estar a la vanguardia de las exigencias internacionales, se creó en el año 2003 la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, que tiene entre sus principales objetivos:

- I. "Contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales".*
- II. "Impulsar la silvicultura y el aprovechamiento de los recursos forestales, para que contribuyan con bienes y servicios que aseguren el mejoramiento del nivel de vida de los mexicanos".*
- III. "Desarrollar los bienes y servicios ambientales y proteger, mantener y aumentar la biodiversidad que brindan".*
- IV. "Promover la organización, capacidad operativa, integralidad y profesionalización de las instituciones públicas".*

V. "Respetar el derecho al uso y disfrute preferente de los recursos forestales de los lugares que ocupan y habitan las comunidades indígenas" (LGDFS, 2003:2).

La LGDFS, es la encargada de regular y fomentar el desarrollo del sector forestal del país, a través de las políticas que lo encaminen hacia el manejo forestal sustentable, y hacia el empoderamiento de los propietarios, en especial de las comunidades y ejidos.

CERTIFICACIÓN FORESTAL

Una manera de mostrar que las prácticas de manejo que se realizan en los bosques son adecuadas y acordes a los objetivos de la LGDFS, es mediante la certificación forestal, misma que se promueve en el artículo 114 de la sección 4 de dicha Ley, y que busca:

- Acreditar el adecuado manejo forestal.
- Proteger los ecosistemas forestales.
- Facilitar el acceso a mercados nacionales e internacionales.

Esta certificación es promovida por la Comisión Nacional Forestal, a través del apoyo brindado a los propietarios de los terrenos forestales por parte de las Promotorías de Desarrollo Forestal. Así, la obtención de la certificación ayuda a promover la compra responsable de productos forestales de bosques manejados sustentablemente, al tiempo que combate la madera obtenida de manera ilegal o bajo procesos de sobreexplotación.

La certificación forestal que se promueve se basa en lo establecido en la *Norma Mexicana NMX-AA-143-SCFI-2008 para la certificación del manejo sustentable de los bosques*, dicho instrumento, establece las especificaciones y los requisitos mínimos para obtener la certificación en los predios forestales del país.

Entre las especificaciones de la Norma se menciona como requisito que el predio tenga un programa de manejo forestal debidamente autorizado por la SEMARNAT. Además, el predio debe estar constituido legalmente, contar con archivos de registros de entradas y salidas de materias primas, estar comprometidos con la conservación, prevenir efectos negativos ocasionados por el aprovechamiento forestal, tener condiciones laborales de acuerdo a la Ley Federal del Trabajo, entre otras.

Cuando un predio forestal ha alcanzado dicha certificación, obtiene el "Sello Bosque Sustentable", este logo le proporcionará beneficios directos durante la

promoción de sus productos, al mostrar un proceso de manejo forestal sustentable.

PROGRAMAS GUBERNAMENTALES

En general, los programas gubernamentales se entienden como estímulos y apoyos que a través de diversos sectores y profesionales, buscan impulsar la participación y el desarrollo de las comunidades, encaminándolas en el manejo de sus recursos.

En el caso del sector forestal, los propietarios obtienen algunos beneficios derivados de prácticas forestales relativamente adecuadas, especialmente del Programa Nacional Forestal (PRONAFOR). Dichos apoyos contemplan nueve áreas: Programa de manejo forestal maderable, servicios ambientales, restauración integral y restauración complementaria, restauración focalizada, sistemas agroforestales, restauración de cuencas prioritarias, programa de manejo forestal no maderable, plantaciones y desarrollo forestal comunitario. Dichas áreas se distribuyen de acuerdo a lo establecido en las Reglas de Operación, como lo muestra la *Tabla 7*.

TABLA 7. COMPONENTES DE LOS APOYOS PRONAFOR 2015.

Componente	Concepto
Estudios y Proyectos	E.P.1 Estudios Regionales para apoyar el Manejo Forestal Sustentable
	EP.2 Estudios de Cuenca de Abasto
	EP.3 Estudios técnicos forestales
	EP.4 Estudios de factibilidad y plan de negocios
Componente II. de Desarrollo Capacidades	DC.1 Evaluaciones Rurales Participativas
	DC.2 Seminarios de Comunidad a Comunidad
	DC.3 Ordenamiento territorial comunitario
	DC.4 Comité de Vigilancia Participativa
	DC.5 Promotor Forestal Comunitario
	DC.6 Talleres de Capacitación
Componente III. Restauración Forestal y Reconversión Productiva	RF.1 Restauración integral
	RF.2 Restauración complementaria
	RF.3 Restauración focalizada
	RF.4 Mantenimiento de zonas restauradas
	RF.5 Restauración de cuencas prioritarias
	RF.6 Sistemas agroforestales
Componente IV. Silvicultura, Abasto y Transformación	SAT.1 Cultivo Forestal y manejo del hábitat
	SAT.2 Caminos forestales
	SAT.3 Innovación tecnológica para operaciones

		silvícolas
		SAT.4 Certificación forestal
		SAT.5 Fortalecimiento de los procesos de transformación y comercialización
Componente V. Servicios Ambientales		SA.1 Pago por servicios ambientales
Componente VI. Plantaciones Forestales Comerciales		PFC.1 Establecimiento y mantenimiento inicial de Plantaciones Forestales Comerciales
		PFC.2 Plantaciones Forestales Comerciales Establecidas
		PFC.3 Mantenimiento Avanzado de Plantaciones Forestales Comerciales
		PFC.4 Innovación tecnológica en operaciones silvícolas

Fuente: Elaboración propia con base en Reglas de Operación PRONAFOR 2015.

Además de los apoyos de este programa, también existen los siguientes: Programa de Proyectos Especiales de Conservación y Restauración Forestal, Programa de Sanidad, Compensación Ambiental, Innovación Y Transferencia De Tecnología, Desarrollo Comunitario Forestal de los Estados del Sur DECOFOS, Programa De Fomento a la Organización Social, Planeación y Desarrollo Regional Forestal (PROFOS), Programa para promover mecanismos locales de pago por servicios ambientales a través de fondos concurrentes y Programa Especial de Áreas de Acción Temprana REDD+.

MANEJO FORESTAL Y ALMACENES DE CARBONO.

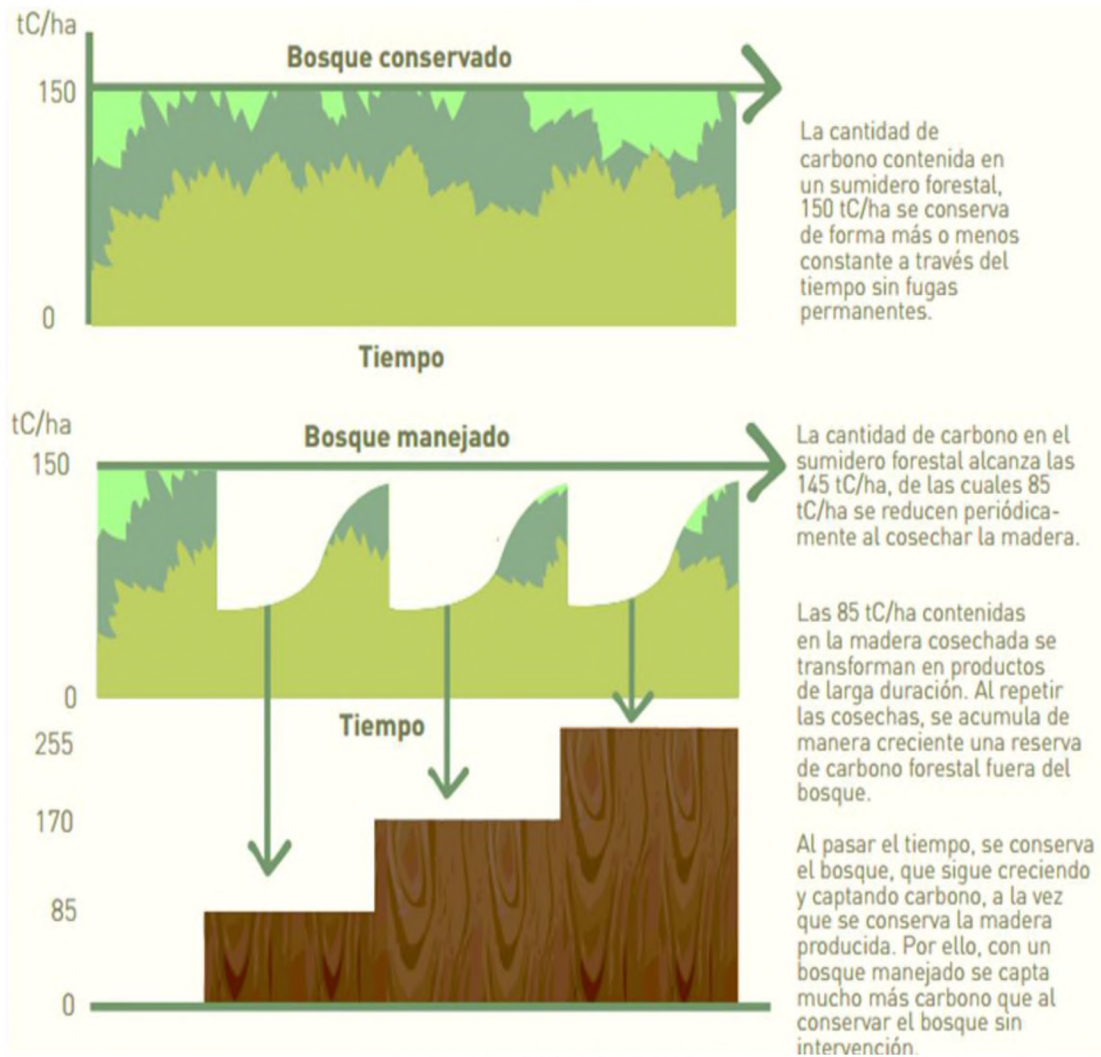
CONSIDERACIONES

Para entender con mayor claridad la importancia de manejo forestal, y su relación con la captura de carbono, se puede tener como antecedente trabajos realizados donde se hace hincapié en que los bosques manejados de manera sustentable no solo capturan carbono mientras crecen, sino que una vez cosechados, parte del carbono queda encapsulado en los productos maderables. Así, mientras este proceso se repita, el carbono secuestrado en los bosques manejados y en sus productos, será mayor que el carbono que se almacene en áreas forestales de conservación sin manejo (CCMSS, 2012).

En otras palabras, se sugiere que los bosques manejados de forma sustentable para su aprovechamiento maderable, capturan más carbono que aquellos que no son manejados, considerando acciones a largo plazo, ya que como menciona González (2013), las tasas de crecimiento de los árboles aumentan

hasta llegar al nivel máximo de desarrollo y después se mantienen constantes. Es decir, de manera natural, los árboles alcanzan un momento de desarrollo máximo, por lo que al no ser intervenidos los bosques envejecen y no hay un incremento de los almacenes de carbono. Mientras que con el manejo, se aceleran los ciclos dentro del bosque, y se recupera periódicamente el carbono extraído durante las cosechas, como lo muestra la *Imagen 4*.

IMAGEN 4. PARA REDD+, UN BOSQUE MANEJADO ES MEJOR QUE UN BOSQUE CONSERVADO SIN MANEJO.



Fuente: CCMSS, 2012.

Por otro lado, se ha comprobado que el manejo en las comunidades mexicanas (Manejo Forestal Comunitario) presenta varias ventajas y es un modelo aplicable para la conservación de recursos forestales y el desarrollo comunitario local, al tiempo que mitiga los impactos del cambio climático a través de la captura de carbono y la provisión de otros servicios ambientales.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

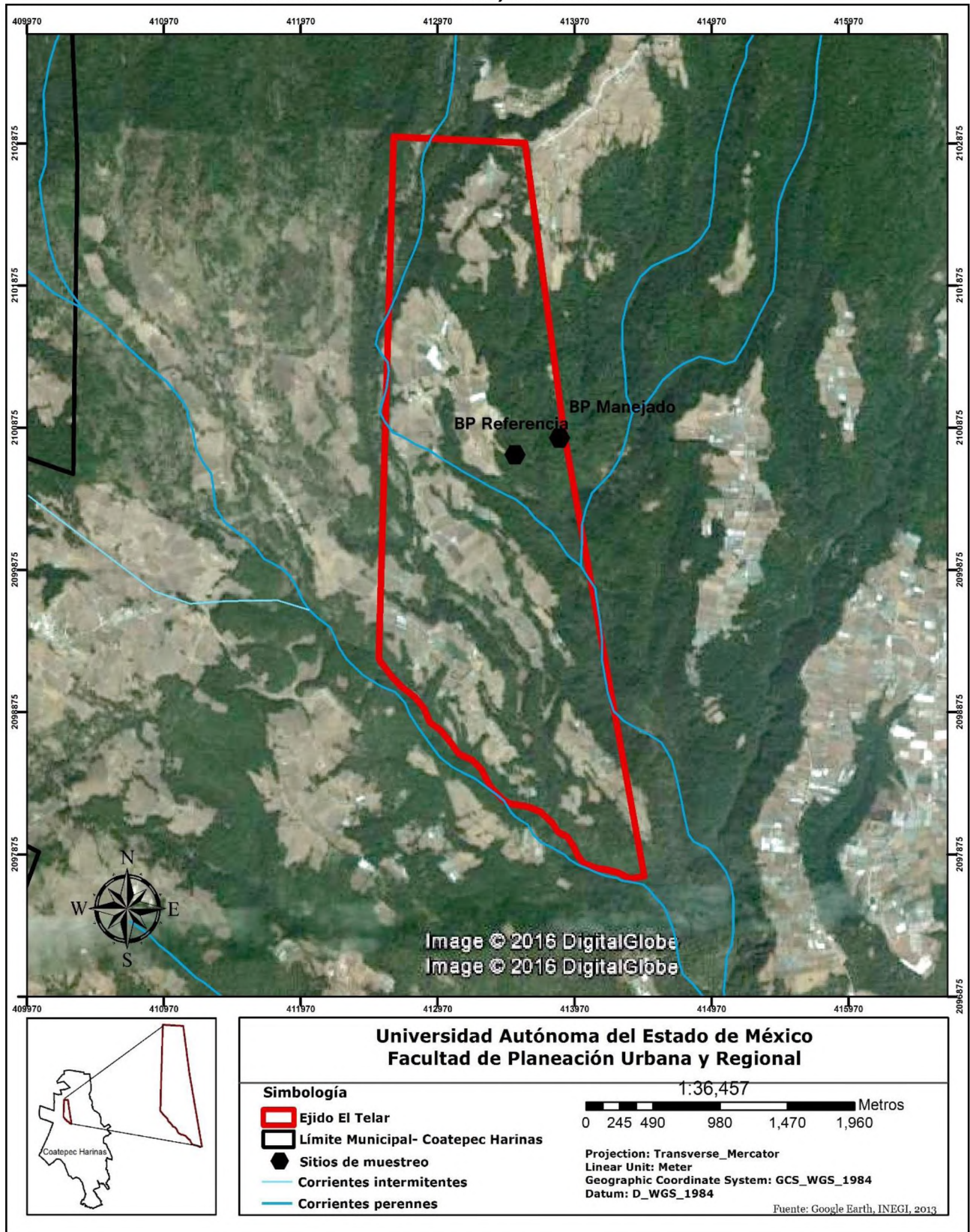
En este capítulo, se presenta la metodología empleada en la investigación. En primera instancia se describe el lugar seleccionado como caso de estudio, posteriormente, se explica el diseño de muestreo jerárquico anidado, así como el trabajo en campo y gabinete para la estimación del carbono. Por último, se describen los instrumentos aplicados para la caracterización del manejo forestal.

EJIDO EL TELAR, COATEPEC HARINAS

El ejido se seleccionó como caso de estudio al ser parte de los sitios del proyecto de investigación **“Cambios de uso de suelo por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México. Impactos locales y emisiones globales de GEI” (No. de registro: 107956 CONACYT)**, donde se llevaron a cabo muestreos para determinar la captura de carbono en zonas de pendiente y con diferentes usos del suelo, siendo el ejido El Telar uno de los sitios muestreados, al ser un lugar representativo de un bosque de Pino.

El ejido El Telar, ubicado al Noroeste del municipio de Coatepec Harinas en el Estado de México, se localiza en las coordenadas: 0994943 y 190004, a una altura de 2774 metros sobre el nivel del mar (msnm) (INEGI, 2010). El ejido pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico o Sierra Volcánica Transversal, en la subprovincia de lagos y volcanes del Anáhuac, con un sistema de topofomas de sierras.

IMAGEN 5. EJIDO EL TELAR, COATEPEC HARINAS.



Fuente: Elaboración propia.

ASPECTOS FÍSICOS

SUELO

El tipo de suelo predominante en la zona donde se encuentra el ejido es el Andosol, cuya principal característica es que se desarrolla en zonas volcánicas ricas en silicatos (en este caso, el Nevado de Toluca). La FAO (2007) menciona dentro de sus características, su alto potencial para el desarrollo de actividades agrícolas, al ser fáciles de cultivar y favorecer el enraizamiento y almacenamiento de agua aunque con fuerte fijación de fofatos. En zonas con pendientes, como en El Telar, se recomienda más un uso forestal para su mantenimiento.

De manera específica, la cartografía temática de INEGI reporta a El Telar, con los siguientes tipos de suelo:

Andosol húmico: derivados de cenizas volcánicas, con alta capacidad para retener agua. Tienen una capa superficial oscura o negra asociada a la presencia de materia orgánica, pero ácida y con pocos nutrientes.

Andosol Ócrico: también es derivado de cenizas volcánicas y con alta retención de agua. En general, presenta una capa superficial clara con pocos nutrientes.

Es importante conocer el tipo de suelo pues éste se relaciona con la cantidad de carbono que almacena. De acuerdo con Carreira (2011) la Materia Orgánica (MO) del suelo es un gran reservorio de carbono, y en general, entre más MO exista en el suelo, será mayor su contenido de nutrientes, el intercambio catiónico, el almacenamiento de agua, la aireación, la capacidad de degradar contaminantes y otras características que definen su calidad y productividad.

GEOLOGÍA

En el lugar donde se localiza El Telar, existe un predominio de rocas volcánicas cenozoicas del Terciario y Cuaternario. Con afloramientos de rocas ígneas extrusivas (andesíticas, riolíticas y basálticas) del Terciario. Además de rocas sedimentarias clásticas, asociados con piroclásticas (tobas). (García, 2007).

HIDROLOGÍA

De acuerdo con el SIATL (2015), el ejido forma parte de la Región hidrológica 18 (RH18) del Balsas, pertenece a la Cuenca del Río Grande de Amacuzac y a la Subcuenca del Río Alto Amacuzac. La principal corriente que pasa por el ejido es el Arroyo la Tortuga proveniente del nevado de Toluca. Se calcula que

alrededor de 6.8 kilómetros de corrientes permanentes están dentro de sus límites.

CLIMA

De acuerdo a la clasificación de Kopen modificada por Enriqueta García, en la zona donde se encuentra el ejido, se identifican dos tipos de clima:

Templado subhúmedo C (w2) (w): es el más húmedo de los templados con lluvia en verano y porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Con una precipitación media anual mayor a 800mm, máxima en julio con 150 a 160mm, con sequía en febrero y diciembre. Temperatura media anual de 12 a 18°C, máxima en mayo con 14 a 15°C y mínima en enero con 11 y 12°C.

Semifrío subhúmedo C (E) (w2) (w): es el más húmedo de los semifríos, con lluvias en verano, precipitación en el mes más seco menor a 40mm. Precipitación anual media mayor a 800mm, máxima en julio con 200mm y mínima en febrero con 10mm. Temperatura media anual entre 4 y 12°C, máxima en abril y mayo (12 a 13°C) y mínima en enero y diciembre (8 a 9°C). (García, 2007).

VEGETACIÓN Y FAUNA

El municipio de Coatepec Harinas tiene una superficie total de 16,550 hectáreas de bosque, de las cuales 5,967 ha pertenecen a bosques de Pino (SEDAGRO, 2010) convirtiéndolo en la cubierta vegetal predominante. En el Programa de Manejo Forestal del ejido se mencionan como vegetación dominante las siguientes especies: Pino (*Pinus spp*), Oyamel (*Abies religiosa*) Encino (*Quercus laurina*) y Aile (*Alnus firmifolia*).

Así mismo, las especies más recurrentes que se reportan en el bosque del ejido son: *Pinus ayacahuite*, *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y *Cupressus lindleyii*.

Es importante mencionar que de acuerdo al Programa de Manejo, las especies consideradas en las cortas son: *Abies religiosa*, *Cupressus lindleyii*, *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y *Quercus spp*.

Por otro lado, algunas de las especies arbustivas que se encuentran en el ejido son: Tepozán (*Buddleia parviflora*), Zarzamora (*Rubus adenitrichus*), Aretillo (*Fuchsia microphylla*), Jarilla (*Baccharis sp.*) Vara blanca (*Salvia hirsuta*) y Jarrito (*Penstemon campanulatus*).

Dentro del estrato herbáceo se reportan especies como: Cincoyoga (*Tagetes lunulata*), Pata de león (*Ranunculus hookerii*), Sosa (*Solanum hispidum*),

Tabardillo (*Lupinus elegans*), Pasto (*Muhlenbergia macroura*) y Malva (*Geranium bello*).

IMAGEN 6. BOSQUE DEL EJIDO EL TELAR.



Fuente: Tomada por García, C., 2016.

Por otro lado, entre la fauna reportada en el ejido, se encuentra: Murciélago (*Artibeus intermedius*, *Chiroderma salvini*, *Glosophaga soricina*, *Hylonycteris underwoodii*, *Lasiurus borealis*, *Natalus stramineus*), Zorrillo (*Coneopatus mesoleucus*), Armadillo (*Dasyopus novencinctus*), Tlacuache (*Didelphis virginiana*), Ratón (*Microtus mexicanus*), Rata (*Neotoma mexicana*), Ardilla (*Sciurus aureogaster*), Culebra (*Toluca lineata*), Aura (*Cathartes aura*), Gavilán rastrero (*Circus ayaenus*), Zopilote (*Coragyps atratus*), Carpintero barrado (*Dendrocopos stricklandi*), Verdugo (*Lanius ludovicianus*), Gorrión (*Melospiza melodía*), Tecolotito (*Otus flameolus*), Coquita (*Scardafella inca*), Cuitlacoche (*Toxostoma ocellatum*) y Tórtola (*Zenaida macroura*). (García, 2007).

ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

Según INEGI (2010), el ejido El Telar cuenta con una población total de 581 habitantes, de los cuales 282 son hombres y 299 mujeres. Su grado promedio de escolaridad es de 4.1 años, correspondiente a educación básica. Aquellos que cuentan con algún tipo de derechohabencia a servicios de salud son 391 personas, de las cuales 387 son derechohabientes al Seguro Popular.

Los servicios con los que cuentan las viviendas del ejido son en general deficientes, en parte por las condiciones naturales que dificultan el acceso a la

zona y con ello la implementación de servicios básicos, especialmente en relación al servicio de drenaje, pues únicamente 29 de las 115 viviendas de la localidad cuentan con él, tal como lo muestra la *Tabla 8*.

TABLA 8. SERVICIOS CON LOS QUE CUENTAN LAS VIVIENDAS DEL EJIDO EL TELAR.

Total de viviendas habitadas	Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje	Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica	Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje
115	63	29	105	27

Fuente: INEGI, 2010.

Por otro lado, CONAPO (2012) señala que el índice de marginación es una medida para diferenciar localidades según el impacto de las carencias de la población, considerando aspectos como el acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes. Para el año 2010, se reportó a El Telar como una localidad con un grado de marginación Muy Alto, lo cual la posiciona como un lugar con desventajas sociales significativas.

Desde el punto de vista económico, se reporta un total de 162 personas económicamente activas, es decir, personas de 12 años o más que trabajaron o buscaron trabajo durante el censo, de éstas, la población ocupada (PO) corresponde a 153 personas (INEGI, 2010).

TABLA 9. POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA EN EL TELAR.

Población Económicamente Activa (PEA)	Población masculina económicamente activa	Población femenina económicamente activa
162	149	13

Fuente: INEGI, 2010.

METODOLOGÍA EN CAMPO

La metodología empleada en campo se divide en dos apartados generales, por un lado, la estimación de los almacenes de carbono con muestreos en la parte aérea y subterránea del bosque y el tratamiento de las muestras en laboratorio (Laboratorio de Ciencias Ambientales). Por otro lado, se presenta la metodología para la caracterización de las prácticas de manejo forestal por parte de los ejidatarios, a través de la aplicación de entrevistas y transectos.

ESTIMACIÓN DE LOS ALMACENES DE CARBONO

La estimación de los almacenes de carbono se realizó en la parte aérea y subterránea del bosque del ejido El Telar, a continuación se presentan las características de los sitios, el diseño del muestreo y la determinación del carbono en los almacenes. Dichos datos fueron recabados en el año 2013.

SELECCIÓN DE SITIOS Y DISEÑO DEL MUESTREO

Esta metodología fue determinada por el proyecto "Cambios de uso de suelo por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México. Impactos locales y emisiones globales de GEI", donde se realizó una revisión documental para obtener la información sobre las diferentes coberturas vegetales dentro del Estado de México, así como su respectiva identificación a través de ortofotos e imágenes en Google Earth, haciendo especial énfasis en aquellas donde se ubican principalmente especies de Pino.

Una vez identificados los sitios bajo cobertura de Pino, se realizaron visitas de campo preliminares para establecer contacto con los actores clave, en este caso, con el comisariado ejidal, con la finalidad de pedir autorización para visitar y realizar mediciones en el bosque y aplicar entrevistas en la comunidad.

El comisariado ejidal, dirigió transectos para conocer y definir los puntos de muestreo más idóneos para realizar las estimaciones. Para la elección de los sitios de muestreo se buscaron dos lugares que cumplieran criterios, como: mismas condiciones de ladera y con la característica específica de conservación.

Respecto a este último criterio, se seleccionaron dos sitios, el primero fue un bosque de pino relativamente conservado; que no haya tenido explotación maderable o intervención reciente por parte de los ejidatarios y que en

general se perciba como el más conservado por la localidad, a este se le denominó Bosque de Pino de Referencia (BP Referencia). El otro sitio, tiene la condición de presentar manejo para aprovechamiento maderable (bajo ciclo de corta), denominado como Bosque de Pino Manejado (BP Manejado). En la *Tabla 10*, se muestran las características generales de cada sitio.

TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO.

BP Referencia	BP Manejado
Localización: X=0413534, Y=2100685	Localización: X=0413861, Y=2100803
Tiene aproximadamente 30 años destinado a conservación, debido a que anteriormente la Protectora e Industrializadora de Bosques (PROTIMBOS) realizó intervención en él (y se introduce agricultura). Es parte del Programa de Manejo Forestal, considerado para la conservación.	Es parte del Programa de Manejo Forestal para el aprovechamiento de recursos maderables, y fue parte del ciclo de corta en el año 2010.
	

Fuente: Elaboración propia con base a trabajo de campo. Fotografías tomadas por García, F., 2013.

Se buscaron estas zonas con criterios contrastantes, para poder comparar las diferencias entre los dos sitios del bosque. Si bien, en el área de estudio ambos lugares son parte del Programa de Manejo Forestal y por ende de un bosque manejado, al ser rodales diferentes, cumplen con los dos objetivos buscados: la conservación y el aprovechamiento, respectivamente. Se muestrearon dos parcelas por tratarse de un ejercicio exploratorio, y al ser parte de un proyecto de investigación, más muestreos implicaban mayores costos.

Una vez identificadas estas zonas, se estimaron los almacenes o reservorios de carbono, empleando el diseño de muestreo jerárquico anidado (Hughes *et al.*, 1999 y Jaramillo *et al.*, 2003) ajustado por Álvarez *et al.* (2013).

La estimación se divide en la parte aérea y la subterránea del bosque. Para la parte aérea se considera la biomasa: arbórea, estrato herbáceo-arbustivo, mantillo, y necromasa del bosque. La parte subterránea es representada por el suelo y las raíces finas que en él se encuentran. Se realizó así, ya que se considera que los procesos de captura y secuestro del carbono (fijación por fotosíntesis y el almacenamiento a largo plazo), se localizan en estos estratos (Etchevers *et al.*, 2005).

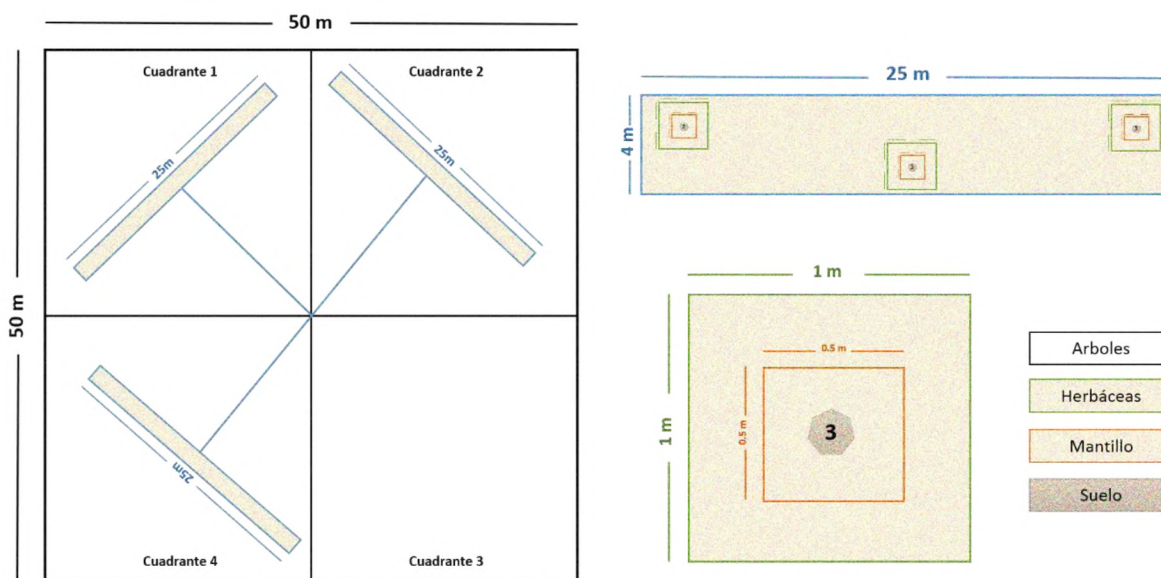
El diseño de muestreo jerárquico anidado (*Ver Imagen 7*) consiste en un muestreo dentro de una superficie de 0.25 ha, estableciendo zonas de 50 x 50 metros, para delimitar 4 cuadrantes de 25 x 25 metros equivalentes a 2500 m², en cada cuadrante se contabilizan los individuos arbóreos vivos y muertos con diámetro mayor a 5 cm a la altura del pecho (DAP a 1.3 metros). Además, se mide la necromasa, donde se incluyen ramas caídas y restos maderables con diámetro mayor a 2.5 cm.

Para los muestreos del estrato herbáceo-arbustivo y del mantillo, se establecen otros 3 subcuadrantes de 25 x 4 metros equivalentes a 100 m² de acuerdo a un esquema en "y", el cual está distribuido de forma concéntrica dentro de la unidad de muestreo mayor (50 x 50 m), tomando como referencia el punto central de ésta. De cada subcuadrante se eligen 3 puntos aleatorios en los que se realiza la toma de las muestras; de herbáceas en cuadros de 1m², y dentro de éstos, se colocan otros cuadros (0.5 m) con un área de 0.25 m² para recolectar el mantillo, dando un total de 9 muestras de cada uno de los estratos.

Por otro lado, para estimar el carbono en la parte subterránea del bosque, se calcula el carbono orgánico en el suelo, para éste se realiza un perfil en la parte central del cuadrante equivalente a una superficie de 0.25 hectáreas, a una profundidad de un metro. Se recolectan muestras de suelo por horizonte con dos repeticiones con la ayuda de un cilindro metálico de volumen conocido para obtener la densidad del suelo.

Así mismo, en el esquema en forma de "y" se toman muestras de suelo con barrena en los lugares de donde se extrajo el mantillo, a profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 50 cm y 50 a 100 cm, obteniendo un total de 27 muestras.

IMAGEN 7. DISEÑO DEL MUESTREO JERÁRQUICO ANIDADO.



Fuente: Elaboración propia.

DETERMINACIÓN DE CARBONO EN LA PARTE AÉREA

Estrato arbóreo:

Para determinar el carbono almacenado en la biomasa arbórea, se emplearon ecuaciones alométricas para estimar la cantidad de biomasa de acuerdo al tamaño de los árboles (Acosta *et al.*, 2001) y cuantificar posteriormente el carbono contenido en ellos, a través de un factor de conversión. En general, se ha encontrado que la composición de la madera es similar entre especies leñosas, y que alrededor del 50% de la materia seca del árbol (biomasa) es carbono⁸.

TABLA 11. ECUACIONES ALOMÉTRICAS EMPLEADAS.

Especie	Ecuación alométrica	A	b	c%	Autor
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$B=0.0948 \cdot DN^{2.4079}$	2.4079	0.0948	0.48	Ayala, 2001
<i>Alnus sp</i>	$B=0.11765 \cdot DN^{2.23}$	2.23	0.11765	0.5	Acosta <i>et al.</i> , 2002

B= Biomasa (Kg), DN= Diámetro Normal (cm)

Fuente: Elaboración propia.

⁸ Es necesario aplicar un factor de conversión; una tonelada de carbono equivale a 3.6 toneladas de CO₂ (peso molecular CO₂ (44)/peso molecular del C (12)).

Herbáceas y mantillo:

Para calcular el carbono en los almacenes herbáceo-arbustivo y en el mantillo, se pesaron en campo las muestras recolectadas y posteriormente se llevaron al laboratorio. Se seleccionaron muestras significativas para secarlas en estufa a 80°C por 72 horas, con la finalidad de obtener el peso de la muestra seca (biomasa) y el contenido de carbono. Para ello, los valores de la biomasa se transforman a carbono determinando un factor de conversión de 0.5, es decir, el 50% de la biomasa seca es carbono orgánico.

DETERMINACIÓN DE CARBONO EN LA PARTE SUBTERRÁNEA

Suelo y raíces finas:

Las muestras de suelo se llevan al laboratorio, se secan a temperatura ambiente y se tamizan para la determinación de la densidad aparente (donde se separan las raíces, rocas y otros residuos). La densidad aparente es la medida en peso del suelo secado a 105°C por unidad de volumen (g/cm³) e incluye el espacio poroso.

Se obtiene la materia orgánica y el contenido de carbono orgánico por el método de Walkley y Black, descrito en la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, así como los estudios, muestreo y análisis. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Una vez diluido se agrega ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe³⁺ y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este método se puede detectar entre un 70 y 84% del carbón orgánico total.

Para calcular los almacenes de carbono de cada muestra, se multiplica el contenido de carbono orgánico por la profundidad y la densidad aparente. Posteriormente se suma el carbono obtenido de las 3 profundidades (equivalentes a un metro). El carbono orgánico total se calcula promediando el carbono obtenido en los nueve lugares donde se extrajeron las muestras de suelo.

Para las raíces finas se consideró una profundidad de 30 cm, y un factor de expansión de 0.25, valor teórico que refleja un porcentaje de la biomasa

aérea. Finalmente, se calcula el carbono total del sitio (MgC ha^{-1})⁹ de la siguiente manera:

Carbono Total= Carbono en la parte aérea + Carbono en la parte subterránea

MANEJO FORESTAL

Para caracterizar el manejo forestal se empleó información obtenida en el 2013 por el proyecto de investigación mencionado. La metodología empleada para esta caracterización fue a través del diseño de un instrumento (entrevista estructurada). Este instrumento estaba organizado en las siguientes secciones: características de la familia, infraestructura, actividad económica, presión para el bosque, estado del bosque, percepción de las actividades forestales y respuesta en actividades forestales. Las entrevistas se aplicaron a la mesa ejidal del periodo 2009-2013, integrada por el comisariado ejidal, el secretario y el tesorero.

Para esta investigación se retoma de manera particular información sobre la percepción y conocimiento de los ejidatarios con respecto al estado del bosque, la identificación de las principales presiones a las que se somete el recurso, las actividades que se realizan dentro del bosque (especialmente en ambos sitios de muestreo), la forma en que se organizan para llevar a cabo las actividades y los actores clave.

Para complementar la información, en el año 2014 se realizó una entrevista semiestructurada enfocada específicamente a las actividades de manejo forestal. Dicho instrumento se aplicó a la promotora forestal del ejido y se obtuvo información sobre las prácticas de manejo, los productos obtenidos del bosque, los programas en los que se participa, la relación de los programas con el manejo y las ventajas y desventajas del ejido.

En el año 2015 se realizó una entrevista abierta al comisariado ejidal del periodo 2013-2016 (miembro de la mesa ejidal en la administración anterior), en la entrevista se obtuvo información sobre las actividades de manejo, los cambios en la administración, los nuevos proyectos del ejido y la percepción general del bosque. Posteriormente, en el año 2016, se realizaron transectos con ayuda del vigilante del ejido, con el objetivo de conocer la organización de los ejidatarios para las faenas y observar como realizan actividades silvícolas como las cortas, el manejo de desperdicios y las reforestaciones.

⁹ MgC ha^{-1} o Megagramos (1×10^6 gramos, es decir, una tonelada métrica) de carbono por hectárea. MgC ha^{-1} es equivalente a tC/ha .

Se realizó una revisión del "Programa de Manejo Forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables (Nivel avanzado)" del ejido, para identificar las actividades de manejo establecidas formalmente, y para conocer las características y condiciones de cada una de ellas.

Para analizar las implicaciones de las prácticas silvícolas de manejo forestal en la captura y almacenes, se diseñó la matriz "relación entre prácticas silvícolas y captura de carbono". En ella se presentan las prácticas (regeneración, tratamientos intermedios y las actividades de protección) que lleva a cabo el ejido, y su impacto (positivo, negativo o neutral) en el proceso de captura y los almacenes de carbono (biomasa arbórea, herbáceo-arbustivo, mantillo, suelo y raíces finas) de ambos sitios de muestreo, considerando la percepción local y documentos como el programa de manejo y guías de manejo forestal.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los datos recabados durante la investigación. Se presentan los resultados de los muestreos realizados en el 2013 para la determinación del carbono en los dos sitios del bosque: el de Referencia y el Manejado, así como el respectivo trabajo en laboratorio para la determinación de la biomasa y los almacenes de carbono en la parte aérea y subterránea.

Así mismo, se presentan los resultados de las entrevistas aplicadas a los actores clave del manejo del bosque, esto con el objetivo de caracterizar las prácticas de manejo dentro del ejido y determinar la manera en que repercuten en los almacenes de carbono.

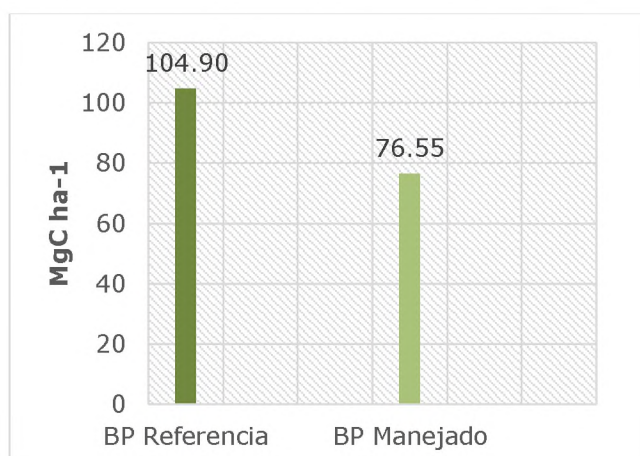
CAPTURA DE CARBONO

A partir de las muestras obtenidas del bosque durante el trabajo de campo en el ejido El Telar y una vez realizadas las estimaciones correspondientes en el laboratorio, los resultados nos muestran que existen diferencias entre las condiciones del sitio de Referencia y el sitio con cierto grado de perturbación o con Manejo, lo cual se ve reflejado directamente en la cantidad de MgC obtenidos por hectárea.

PARTE AÉREA

Los almacenes de carbono de la parte aérea del bosque consideran la biomasa arbórea, las herbáceas y el mantillo. Respecto a la biomasa arbórea, en la *Gráfica 1*, se observa que es mayor en el sitio de Referencia con 104.90 MgC ha⁻¹ a diferencia del Manejado que presentó un total de 76.55 MgC ha⁻¹.

GRÁFICA 1. CAPTURA DE CARBONO EN LA BIOMASA ARBÓREA.



Fuente: Elaboración propia.

La diferencia en la biomasa arbórea se debe principalmente a la estructura y densidad¹⁰ del bosque con respecto a la cantidad de individuos que se encuentran en la zona, ya que en el sitio BP de Referencia hay 1,308 árboles y en el Manejado existen 972 individuos, contribuyendo a la captura de carbono total, como lo muestra la *Tabla 12*.

TABLA 12. DIÁMETRO DE LOS ÁRBOLES MUESTREADOS.

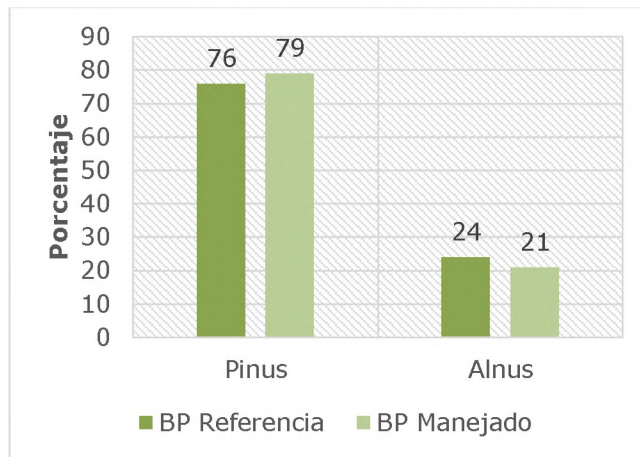
Diámetro	BP Referencia	%	BP Manejado	%
0 - 10 cm	540	41	224	23
10 - 30 cm	548	42	608	63
30 - 50 cm	200	15	124	13
Más de 50 cm	20	2	16	2
Total	1308	100	972	100

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la composición del bosque, es decir, las diferentes especies arbóreas y arbustivas que lo integran (Musálem y Fierros, 1996), se distribuyen dentro del ejido de la siguiente manera: en el sitio BP de Referencia, el 76% (994) de los árboles pertenecen a la especie *Pinus* y el 24% (314) corresponden a la especie *Alnus*, mientras que en el sitio BP Manejado, 79% (768) son *Pinus* y el 21% (204) restante son *Alnus*, como lo muestra la siguiente gráfica.

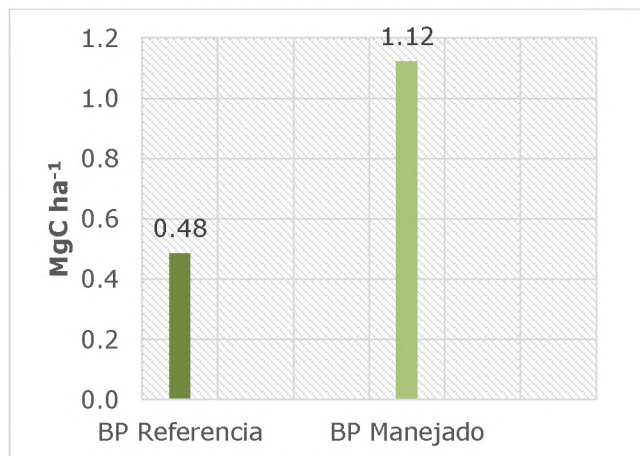
¹⁰ Densidad arbórea: número de individuos en una hectárea.

GRÁFICA 2. COMPOSICIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.



Con respecto al estrato herbáceo-arbustivo del bosque, los resultados recabados muestran una dinámica diferente a la presentada en la biomasa arbórea, pues el sitio BP Manejado presenta cantidades más altas en este estrato con 1.12 MgC ha^{-1} .

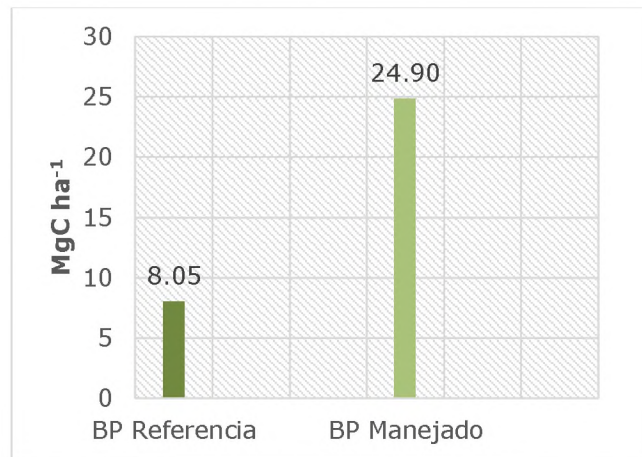
GRÁFICA 3. CAPTURA DE CARBONO EN HERBÁCEAS.



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en la parte herbácea, el mantillo almacena más carbono en el sitio BP Manejado con $24.90 \text{ MgC ha}^{-1}$, mientras que el de Referencia fija únicamente 8.05 MgC ha^{-1} tal como lo muestra la *Gráfica 4*.

GRÁFICA 4. CAPTURA DE CARBONO EN MANTILLO.

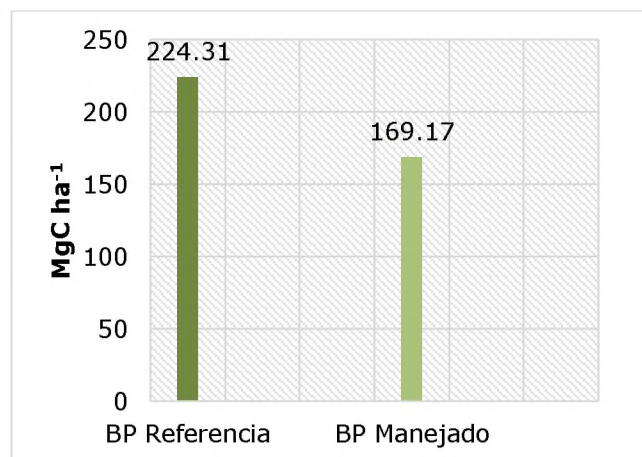


Fuente: Elaboración propia.

PARTE SUBTERRÁNEA

La parte subterránea del bosque considera el suelo y las raíces finas (a los 30 cm) contenidas en él. Los resultados obtenidos en la parte del suelo se presentan en la *Gráfica 5*, donde se observa claramente una diferencia significativa entre el sitio de Referencia con 224.31 MgC ha⁻¹ y el Manejado con 169.17 MgC por hectárea.

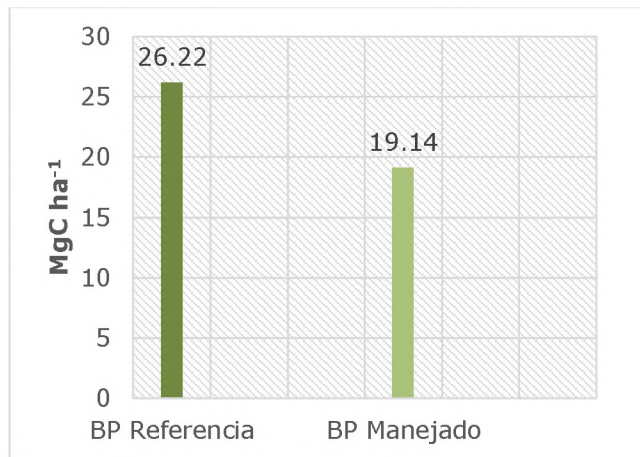
GRÁFICA 5. CAPTURA DE CARBONO EN SUELO.



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la captura de carbono en las raíces finas, los datos muestran la presencia de mayor captura de carbono en el sitio BP de Referencia, ya que el carbono presente es de 26.22 MgC ha⁻¹, mientras que en el sitio BP Manejado es de 19.14 MgC ha⁻¹, como muestra la *Gráfica 6*.

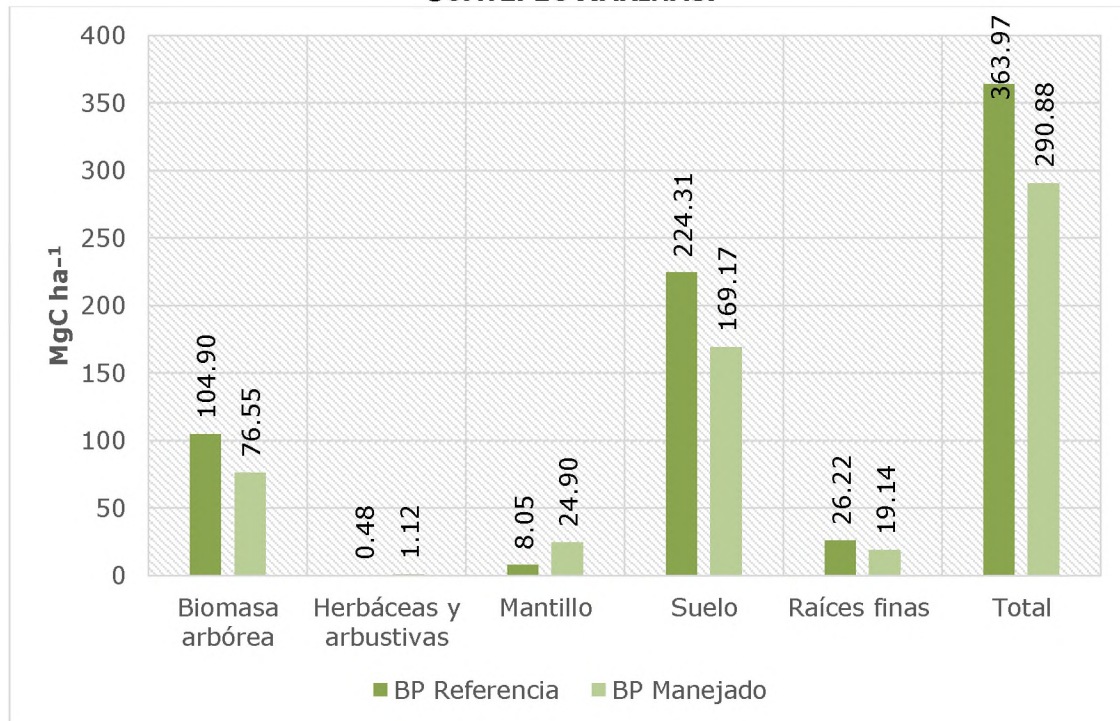
GRÁFICA 6. CAPTURA DE CARBONO EN RAÍCES FINAS.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la *Gráfica 7* se integran los diferentes almacenes para mostrar la acumulación total por sitio muestreado. Se observa que existen diferencias entre los dos sitios, en general, el sitio BP de Referencia almacena más carbono, especialmente en el suelo con 55.14 MgC ha⁻¹ más, equivalentes al 25%. El sitio BP Manejado presenta menor cantidad en general, pero se observa que el mantillo y las herbáceas son los reservorios con más carbono en comparación con el sitio BP de Referencia.

GRÁFICA 7. CAPTURA DE CARBONO EN EL BOSQUE DE PINO DEL EJIDO EL TELAR, COATEPEC HARINAS.



Fuente: Elaboración propia.

Con lo anterior, se puede decir que los datos obtenidos muestran que los almacenes de carbono total son mayores en el sitio BP de Referencia, en el cual se presentan 363.97 MgC ha⁻¹ mientras que en BP Manejado se almacena 290.88 MgC ha⁻¹. Además, se observa que la diferencia es mayor en los almacenes de la parte subterránea (Ver Tabla 13).

TABLA 13. ALMACENES DE CARBONO EN EL BOSQUE DE PINO DEL EJIDO EL TELAR, COATEPEC HARINAS (MGC HA⁻¹).

Almacén	BP Referencia			BP Manejado		
	Media	Desviación estándar	%	Media	Desviación estándar	%
Biomasa arbórea	104.9	26.81	28.8	76.55	24.64	26.3
Herbáceo-Arbustivo	0.48	0.13	0.1	1.12	1.15	0.4
Mantillo	8.05	2.1	2.2	24.9	14.18	8.6
Suelo	224.31	46.57	61.6	169.17	31.36	58.2
Raíces finas	26.22		7.2	19.14		6.6
Total	363.97		100	290.88		100

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, se muestran las medias, la desviación estándar y el porcentaje de cada almacén en relación al total. El estrato arbóreo y el suelo, presentan desviaciones estándar similares entre los sitios, es decir misma variabilidad. Con respecto al estrato herbáceo-arbustivo y el mantillo existe una mayor desviación estándar en el sitio BP Manejado. Al aplicarse la prueba T, se observa que estadísticamente no existen diferencias significativas (P=0.306) entre las medias de los almacenes de carbono de los estratos.

MANEJO FORESTAL

Los resultados de la caracterización son producto de la revisión del Programa de Manejo Forestal, los transectos y las entrevistas realizadas, tanto a los integrantes de la mesa ejidal como a la promotora. En este apartado se abordan los siguientes aspectos: organización de los ejidatarios, aprovechamiento forestal no maderable y maderable, caracterización de las prácticas silvícolas de manejo y programas en los que participa el ejido.

ORGANIZACIÓN DE LOS EJIDATARIOS

De acuerdo a las entrevistas, el ejido El Telar comprende un total de 113 ejidatarios, que cuentan con 369 hectáreas de bosque de las 624 totales. La autoridad en las comunidades ejidales es representada por la llamada mesa ejidal, conformada por: un comisariado ejidal, un secretario, un tesorero y dos vigilantes, los cuales son elegidos de manera democrática mediante el voto interno de los ejidatarios. El cargo tiene una duración de 3 años. En el caso de El Telar, el comisariado ejidal es quien se encarga de organizar todas las actividades de manejo del bosque, con la asesoría técnica de un ingeniero forestal, la promotora y con la ayuda de los demás integrantes de la mesa ejidal.

La promotora forestal indicó en la entrevista que una característica particular en este ejido, es el liderazgo de la mesa ejidal, lo cual ha permitido una buena organización que incentiva la participación de todos los ejidatarios para las actividades del bosque. Asimismo, los comisariados ejidales del 2009-2013 y 2013-2016 expresaron que todos participan, porque todos se benefician. Las actividades se llevan a cabo a través de faenas, que los ejidatarios realizan de manera conjunta o se rotan, cuando un ejidatario no puede participar envía un representante para hacer su trabajo, pudiendo ser un familiar y otra persona de la comunidad. Por cada faena, reciben una compensación económica de 150 pesos.

El ejido lleva a cabo actividades de aprovechamiento forestal maderable y no maderable. La producción maderable es vendida, y la no maderable es para autoconsumo. Los ejidatarios se han organizado para ello, siendo la mesa ejidal la responsable. Para la venta, la mesa ejidal está a cargo de contactar con el aserradero y hacer los trabajos administrativos, mientras que para la no maderable, ellos son los encargados de vigilar el acceso de los ejidatarios con la remisión correspondiente, siendo la caza la única restricción.

De acuerdo con los comisariados y la población, los recursos económicos obtenidos de la producción de madera son repartidos equitativamente entre los ejidatarios, y una parte ha sido invertida en obras de infraestructura para la comunidad como la iglesia, la pavimentación de caminos y la construcción de escuelas de nivel básico, como se observa en las imágenes 8, 9 y 10.

IMAGEN 8. IGLESIA UBICADA EN EL TELAR.



Fuente: Toma propia

IMAGEN 9. PAVIMENTACIÓN DE CAMINOS.



Fuente: Toma propia

IMAGEN 10. ESCUELAS DE NIVEL BÁSICO EN EL TELAR.



Fuente: Toma propia

APROVECHAMIENTO FORESTAL NO MADERABLE

Dentro de los recursos forestales que ofrece el bosque al ejido se encuentran los Productos Forestales No Maderables (PFNM). De acuerdo a las entrevistas, estos productos son extraídos de manera no comercial y solo para el consumo de los ejidatarios, con la previa aprobación del encargado de vigilancia de la mesa ejidal. Los ejidatarios extraen: hongos, corteza, plantas medicinales (clavitos, semas, orejas, naranjo y gachupino), leña y agua. Los ejidatarios nos comentan en que meses extraen normalmente estos productos, los cuales se muestra en la *Tabla 14*.

TABLA 14. CALENDARIO DEL APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS FORESTALES NO MADERABLES EN EL TELAR.

Mes en que se realiza la actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Extracción de material comestible y/o medicinal						X	X	X	X			
Recolección de leña	X	X	X	X					X	X	X	X
Extracción de agua		X	X	X								

Fuente: Elaboración propia.

La extracción de productos comestibles y de leña (*Ver Imagen 11*), representan un ahorro para los ejidatarios y sus familias. La leña es usada como combustible y es obtenida por cada ejidatario a través de una remisión o permiso. Por otro lado, los resultados indican que la percepción de los ejidatarios sobre los productos comestibles y medicinales es que han disminuido con el paso de los años. Al igual que la presencia de algunas especies de fauna silvestre.

IMAGEN 11. CARGA DE LEÑA PARA EJIDATARIOS DEL EJIDO EL TELAR.



Fuente: Toma propia

APROVECHAMIENTO FORESTAL MADERABLE

El bosque del ejido ha tenido aprovechamiento maderable desde el año 1996, por lo que actualmente se encuentra en su segundo ciclo de corta. Las actividades de manejo del bosque se rigen por el "Programa de Manejo Forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables (nivel avanzado)" del ejido, el cual fue elaborado en el año 2007, con un ciclo de corta de 10 años bajo el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI).

En el Programa de Manejo Forestal se señalan las características del bosque una vez concluida la primera intervención. Posterior al primer ciclo de corta, se indica que en el bosque no había presencia de tala clandestina y que la masa forestal se encontraba en riesgo (posiblemente afectada por plagas, aunque no se especifica), esto último ocasionó que se sobrepasara la cosecha autorizada de Pino debido a las actividades de saneamiento del bosque, mejorando su composición y el incremento del renuevo natural.

De acuerdo al objetivo general del Programa, éste contiene las acciones y procedimientos de *manejo forestal sustentable*, que se deben realizar en el predio para su aprovechamiento, por lo cual, en los objetivos específicos se consideran acciones para la producción, conservación, restauración y protección.

El Programa de Manejo Forestal establece las actividades a realizar en las 624 hectáreas del ejido, así como la superficie destinada para cada una de ellas, como lo muestra la *Tabla 15*.

TABLA 15. ACTIVIDADES CONTEMPLADAS EN EL PROGRAMA DE MANEJO FORESTAL.

Actividad	Superficie (hectáreas)
Producción	343.15 (en el ciclo de corta: 255.19, sin intervención en el ciclo de corta: 87.96).
Conservación y aprovechamiento restringido	26.02
Otros usos	254.83
Total	624

Fuente: Elaboración propia con base en el Programa de Manejo Forestal.

De acuerdo con la tabla anterior, no se contemplan zonas (rodales) exclusivas para la restauración o protección de flora y fauna. Además, las acciones de conservación y aprovechamiento restringido, hacen referencia únicamente a la vegetación ribereña (aledaña al río). Mientras que las zonas destinadas a otros usos se refieren a las actividades agrícolas y las áreas de pastizales, como se muestra en las *Imágenes 12 y 13*.

IMAGEN 12. ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN EL TELAR.



Fuente: Tomada por García, C., 2016.

IMAGEN 13. PASTIZALES DENTRO DEL EJIDO.



Fuente: Toma propia.

De acuerdo al Programa de Manejo Forestal, el sistema silvícola que se sigue en el ejido (MMOBI), tiene como principal característica permitir que el bosque cuente con árboles de todas las edades (diferentes categorías diaméricas), considerando el tratamiento de cortas de selección individual o en grupos. Su objetivo de tener una estructura irregular, disminuir la competencia, tener una buena distribución del arbolado residual y propiciar espacios vacíos para que se lleve a cabo la regeneración de manera natural.

Este método, sugiere ciclo de corta para el aprovechamiento racionado del bosque. La corta se realiza de acuerdo a las características que se desean tener del arbolado, por lo cual se aprovechan árboles que no las cumplan, o bien, que no supongan el mejoramiento de la masa forestal. (Sánchez, 2011). Por ejemplo, se eliminan los árboles enfermos, plagados, quemados, lacrados, sobremaduros o suprimidos, o bien, aquellos que disminuyen la calidad del árbol (bifurcados, con poca altura), en especial de las categorías diamétricas más frecuentes, para mantener la irregularidad en el bosque. En el caso de las cortas en grupo se considera remover aquellos que estén plagados, sobremaduros o con características no deseables.

Las cortas a realizar en el predio atienden estas características y se proponen intensidades de corta máximas de acuerdo al incremento corriente de la masa forestal. Además de intensidades de corta bajas, con la finalidad de seguir con la depuración del bosque y de contar con remanente de incremento para que en caso de contingencias se asegure la permanencia del bosque. Las especies consideradas en las cortas son aquellas de fácil regeneración, especialmente de aquellas que tienen establecimiento por renuevo natural o por reforestaciones, estas especies son: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus montezumae*, *Abies religiosa* y *Cupressus lindleyii*.

En general, las especies dominantes del predio requieren espacios abiertos para poder regenerarse, y la intensidad de corta baja, permite que especies tolerantes como el oyamel, obtengan los requerimientos de sombra que necesitan de los individuos no seleccionados para la corta.

De acuerdo con el Programa de Manejo, se extraen árboles maduros, para la obtención de los productos comerciales. Sin embargo, también contempla realizar cortas con la finalidad de reducir la competencia y ayudar al desarrollo de los árboles jóvenes, al establecimiento de la regeneración, o bien, para ayudar al crecimiento de los árboles residuales.

La periodicidad de la corta de selección contempla una sola intervención, y ya que se trata de un bosque irregular, se usa el diámetro normal como parámetro de corta y no la determinación del turno.

Con este método de manejo se resalta el objetivo de mejorar la calidad actual del bosque, de propiciar la regeneración de manera permanente, de proteger el suelo de la erosión a través de intensidades de corta bajas, mantener las especies actuales, especialmente de aquellas con valor comercial y mantener la estructura actual.

Por otro lado, el Programa de Manejo menciona dentro de los beneficios del aprovechamiento ordenado del bosque, la oportunidad de brindar beneficios

económicos, que podrían ser reinvertidos por los ejidatarios para acciones de protección y restauración, al tiempo que integra a los propietarios en el manejo del bosque y en el proceso de producción. Además de impulsar fuentes de empleo para los ejidatarios al participar en las actividades de manejo y propiciar la valoración de sus recursos en el proceso.

Las entrevistas a la mesa ejidal, y los transectos realizados en campo, permitieron corroborar que en el ejido se llevan a cabo estas actividades planteadas en el programa de manejo.

CARACTERIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO

A continuación se presentan las actividades silvícolas que se llevan a cabo en el ejido, así como sus principales características, de acuerdo a lo reportado en el Programa de Manejo y por los ejidatarios. Es importante aclarar que en la *Tabla 16* se describen únicamente las actividades que se considera que tienen un impacto directo en la captura y almacenes de carbono para este trabajo.

TABLA 16. ACTIVIDADES SILVÍCOLAS LLEVADAS A CABO EN EL TELAR.

Actividad		Características
Regeneración	Preparación del sitio para propiciar la regeneración	Remoción de la capa superficial del suelo También conocida como rastreo o barbecho. Se realiza en lugares con una capa gruesa de materia orgánica que impide que la semilla llegue al suelo. Se lleva a cabo antes de la dispersión de las semillas en el año que se hizo la intervención o al siguiente, específicamente durante los meses de octubre a diciembre.
		Chaponeo Consiste en la eliminación mecánica, parcial o total de la vegetación del sotobosque. Se realiza en áreas con maleza y arbustos (cobertura mayor al 45%), después de la época de lluvias antes de la dispersión de semillas de octubre.
	Regeneración natural o artificial (reforestación)	Se promueve la regeneración natural, al abrir claros después de la corta de selección, pues con el arrastre de la tracería se remueve el suelo y se permite que las semillas lleguen hasta el suelo.

		Si no se da la regeneración natural, se realiza una evaluación en los claros, donde se espera contar con una densidad mínima de 625 plantas por hectáreas. Si no se cumple esta condición se realiza la reforestación con especies de <i>Pinus ayacahuite</i> , <i>Pinus montezumae</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Pinus teocote</i> y <i>Abies religiosa</i> . La reforestación se hace durante los meses de junio a agosto (época de lluvias) preferentemente bajo el método de marco real. La planta se obtiene de los viveros de la CONAFOR. Para su protección las áreas reforestadas son cercadas y señalizadas.
	Corta de selección (cosecha)	El Programa de manejo establece que las cortas del ejido son de selección individual y grupal, de acuerdo al MMOBI, con el objetivo de tener una estructura irregular, disminuir la competencia, tener una buena distribución del arbolado residual y propiciar espacios vacíos para que se lleve a cabo la regeneración de manera natural. El criterio que se sigue para las cortas es la condición residual en cada rodal y el incremento corriente de cada rodal. Estas cortas van de la mano de las cortas de saneamiento.
Tratamientos intermedios	Limpias (chaponeo y deshierbe)	Su principal objetivo es disminuir la competencia al eliminar parcialmente la vegetación arbustiva y herbácea en franjas o por cuadros (al ser parcial protege al renuevo). Se realiza en zonas con mucha maleza (más de 45%) y con poco renuevo de especies de interés, en especial después de la época de lluvias. Busca disminuir la competencia.
	Corta de saneamiento	Estas cortas se realizan cuando se compromete el rodal principalmente por enfermedades y plagas en los árboles.
	Poda	Busca eliminar las ramas en los primeros dos tercios del fuste. Se realiza de manera anual, cuando el renuevo tiene de 3 a 6 años, con la finalidad de mejorar la calidad de la madera y

		estimular el crecimiento. Enfocada al renuevo en crecimiento.
	Aclareo	De acuerdo con el Programa de Manejo, se extraen árboles maduros, para la obtención de los productos comerciales de la corta de selección. Sin embargo, también contempla realizar cortas con la finalidad de reducir la competencia y ayudar al desarrollo de los aboles jóvenes, al establecimiento de la regeneración, o bien, para ayudar al crecimiento de los árboles residuales. Cabe mencionar que el MMOBI solo contempla una corta por rodal, por lo que la corta de selección también contempla los objetivos del aclareo.
Protección y actividades complementarias	Cajeteo (zonas reforestadas)	Esta actividad se realiza en las áreas reforestadas con la finalidad de proveerle al árbol humedad durante la época de lluvias. Consiste en realizar un pequeño cuadrado alrededor del árbol y retirar suelo a una profundidad de 40 a 50 cm, de tal manera que el agua quede contenida y disponible para el árbol durante más tiempo. Esta actividad no aparece en el Programa de Manejo Forestal.
	Suelo	Manejo de residuos del aprovechamiento: se refiere al control de desperdicios, y consiste en picar y esparcir los residuos en el lugar de corta. Además de apilarlos en forma perpendicular a la pendiente para evitar la pérdida de suelo por escorrentía, o amontonar madera para refugio de la fauna silvestre. Esta actividad también puede ser considerada como parte de la preparación del sitio para propiciar la regeneración. También contempla el bacheo, de acuerdo a lo establecido en la NOM-060-SEMARNAT-1994. Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.
	Brechas cortafuego	Se realizan de acuerdo a las condiciones del

	terreno, por lo que se localizan a cada 40 u 80 metros entre sí, con un ancho de 3 m cada una. Su objetivo es eliminar combustible al quedar expuesto el suelo mineral. Para su mantenimiento cada ejidatario es responsable de limpiar al menos 500 metros.
--	--

Fuente: Elaboración propia con base en el Programa de Manejo y entrevistas.

Todas las actividades descritas las realizan los ejidatarios con la asesoría técnica de un ingeniero forestal contratado por la comunidad, quien de acuerdo a las condiciones del bosque autoriza y decide la cantidad y la temporalidad de cada una de ellas.

De acuerdo con las entrevistas y transectos realizados con la mesa ejidal, la extracción de los productos se realiza en tres pasos; 1. Derribo, desrame y troceo (se realiza con motosierra, el derribo es direccional para asegurar el arrime al camino y evitar daños a la vegetación y el suelo). 2. Arrime y carga: se hacen de forma manual con ganchos troceros o motogrúa, y 3. Transporte.

IMAGEN 14. MAQUINARIA EMPLEADA DURANTE LA EXTRACCIÓN DE LOS PRODUCTOS.



Fuente: Tomada por García, C., 2016.

Los productos que se obtienen, de acuerdo al Programa de Manejo son madera en rollo de largas dimensiones, madera en rollo de cortas dimensiones, leña y residuos. La madera se lleva al aserradero de una localidad cercana (Agua Bendita), mientras que las trozas del árbol cortado se autorizan para uso de leña para cada ejidatario, esta cantidad varía dependiendo lo disposición anual.

Por otra parte, es importante mencionar que el Programa de Manejo contempla a las podas y las limpias (chaponeo y deshierre) como tratamientos

complementarios, y que se realizan en función de los recursos del ejido, especialmente en áreas donde hubo intervención y una vez que ya hay regeneración, actividades que se realizan por los ejidatarios y sus familias.

Aparte de estas actividades, también se consideran otras como el mantenimiento de caminos y la vigilancia, que deben realizarse de manera continua antes y después de la época de lluvias, con el objetivo de poder actuar de manera adecuada en caso de emergencias. El mantenimiento de los caminos lo llevan a cabo los ejidatarios durante las faenas. Aunado a esto, se realizan actividades de limpieza, y como medida preventiva, se cerca con alambre de púas para evitar la entrada de ganado en áreas reforestadas o estratégicas.

Algunas de estas actividades como reforestaciones, limpieas de caminos y brechas cortafuego (*Ver Imagen 15*) generalmente son pagados por faena a los ejidatarios.

Finalmente, el Programa de Manejo también considera las quemas controladas (que forman parte de las actividades para la preparación del sitio) con el objetivo de quitar el material combustible que dificulta el establecimiento de la regeneración natural, sin embargo, según los ejidatarios, no ha habido necesidad de llevarlas a cabo en el ejido.

IMAGEN 15. BRECHA CORTAFUEGO EN EL EJIDO EL TELAR.



Fuente: Toma propia.

PROGRAMAS

Gracias al apoyo de la promotora forestal y a la organización de la comunidad, el ejido ha logrado participar en programas tanto de desarrollo social como

forestales. A partir del 27 de julio 2007 se les apoyo para la elaboración del "Programa de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables (nivel avanzado)", que les permite realizar el aprovechamiento del bosque hasta el 31 de diciembre de 2016 (10 años) y cuya autorización es 207E10000/023/2007-NA.

A partir de entonces, el ejido ha obtenido apoyos para realizar las acciones establecidas en el Programa de Manejo y para identificar las principales características del ejido, con la finalidad de darle mayor solidez y así asegurar la conservación del bosque. Estos apoyos los obtienen especialmente del Programa Nacional Forestal (PRONAFOR), en el cual han participado en varios conceptos, sin embargo, también se ha visto beneficiado por el Programa de Desarrollo Forestal Comunitario (PROCYMAF) en el año 2012, como se muestra en la *Tabla 18*.

TABLA 17. PROGRAMAS EN LOS QUE HA PARTICIPADO EL EJIDO EL TELAR.

Año	Concepto de apoyo	Superficie o cantidad asignada	Monto asignado (\$)
2007	Programa de Manejo Forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables		
2008	Programa de núcleos agrarios		
2009	Evaluaciones rurales participativas		
2011	A2.4 Tecnificación de la Silvicultura 2011	1 proyecto	203,000
	A2.1 Cultivo Forestal en Aprovechamientos Maderables 2011	18.2 Ha.	43,680
	A3.1 Auditoria Técnica Preventiva 2011	369.17 Ha.	40,453
2012	FC2.2 Estudios Técnicos Especializados para Alternativas Productivas en Ecosistemas Forestales 2012		44,200
	FC1.9.1 Talleres y cursos de capacitación a Productores Forestales 2012		26,350
	FC1.8 Promotor Forestal Comunitario 2012		35,700
2013	A2.5 Caminos forestales 2013	1.8 km	58,611

	A3.3 Otras Certificaciones, Acreditación y/o Acompañamiento 2013	369.17 Ha.	140,000
	FC1.4 Estudios de Ordenamiento Territorial Comunitario 2013		44,000
	FC1.6 Seminarios de comunidad a comunidad 2013		62,400
2014	EP.2 Estudios de Cuenca de Abasto 2014		500,000
	CP.6 Acta Constitutiva de Empresa Forestal 2014		20,000
	CP.4 Proyectos de Interés Estratégico Industrial o Comercial 2014		455,000
	DC.4 Talleres para la Formulación o Modificación de Reglamentos Internos o Estatutos Comunales 2014	Evento	33,600
	DC.8 Talleres y cursos de capacitación 2014	Evento	33,600

Fuente: Elaboración propia con base en CONAFOR, 2015b y entrevistas.

Los montos asignados dependen del tipo de apoyo obtenido y oscilan entre los 20 mil y 500 mil pesos. Estos han sido otorgados por diferentes convocatorias para mejorar aspectos como el desarrollo forestal comunitario, el desarrollo de cadenas productivas y el desarrollo de capacidades y estudios técnicos especializados. Además de estos apoyos, el ejido también recibe el pago por servicios ambientales hidrológicos (\$1500/ha), como se muestra en la *Imagen 16*, y que se traduce en mayores beneficios económicos.

IMAGEN 16. PROGRAMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS.



Fuente: Toma propia

De acuerdo con la promotora forestal, al participar en las Evaluaciones Rurales Participativas, el ejido fue parte de los ejercicios de planeación participativa impulsados por el gobierno, que permitieron trabajar con las comunidades para la identificación de sus principales características y problemáticas para así poder alcanzar su potencial.

Por último, es conveniente destacar que de acuerdo a las entrevistas realizadas, el ejido tiene interés en diversificar sus actividades, por lo cual, ha tenido asesoría para la creación de una microempresa donde las mujeres trabajan con palma y ha solicitado apoyo para la creación de una embotelladora de agua.

La importancia de estos incentivos gubernamentales, es que se convierten en la principal fuente de financiamiento y capacitación para llevar a cabo las actividades establecidas en el Programa de Manejo Forestal. Según el comisariado ejidal, los ingresos por los apoyos se utilizan para dar mantenimiento al bosque, pagar la maquinaria para realizar el manejo (camioneta) y para pagar la mano de obra, esta última a través del Programa de Empleo Temporal, del que reciben \$150 pesos por día de trabajo por ejidatario.

Finalmente, aunado a los ingresos de los programas, cada año se comercializa la madera por un valor aproximado de \$1,100 pesos por 1m^3 . Por ejemplo, de acuerdo a la mesa ejidal, de aproximadamente 900m^3 de madera que se extrae, 150 son las trozas y residuos (incluida leña) y el resto se vende. Del total de las ganancias, se reserva el 10% para mantenimiento del bosque e imprevistos, y el resto se reparte equitativamente entre los ejidatarios.

Por lo anterior, los resultados sugieren que en total cada ejidatario obtiene beneficios económicos que oscilan entre los \$5,000 a \$8,000 pesos al año (sin considerar lo invertido en obras de infraestructura para beneficio de todo el ejido). La cantidad depende de la posibilidad de corta total establecida para cada intervención.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CAPTURA Y ALMACENES DE CARBONO

Los almacenes de carbono en el ejido El Telar, representan un total de 363.97 MgC ha⁻¹ en el sitio BP de Referencia y 290.88 MgC ha⁻¹ en el BP Manejado, en comparación con los datos de carbono de otras investigaciones, se observa que se obtuvieron valores dentro de los intervalos reportados, pues como señala Ordoñez (2014) el contenido de carbono en bosques no manejados oscila entre los 80 y 257 MgC ha⁻¹, en las plantaciones entre los 154 y 281 MgC ha⁻¹, en los bosques bajo manejo entre 234 y 309 MgC ha⁻¹, y los bosques protegidos entre 97 y 305 MgC ha⁻¹. Estas diferencias se explican por la metodología y condiciones de los lugares muestreados.

En el caso de estudio, las variaciones entre el sitio BP de Referencia y el BP Manejado, sugieren que las prácticas de manejo influyen en los almacenes de carbono, ya que, los sitios de muestreo se encuentran bajo diferentes objetivos de manejo, uno al ser parte de los rodales destinados a la conservación y el otro, para el aprovechamiento maderable.

En este sentido, se puede decir que el manejo forestal influye en los almacenes de carbono en diferentes niveles. En el caso del BP de Referencia, el hecho de destinar un área del bosque para su conservación y sin intervención de aprovechamiento, genera o mantiene un espacio de almacenamiento de carbono. Por otro lado, con los tratamientos silvícolas en el BP Manejado, es posible acelerar el proceso de crecimiento de los bosques y controlar su densidad, ya que, es durante el proceso de crecimiento cuando más carbono se captura y almacena, pues como señalan Bravo *et al.* (2007) los bosques almacenan CO₂ cuando están en crecimiento, y dejan de hacerlo cuando son adultos y han alcanzado su estado de madurez.

Una de las razones por las cuales se obtienen valores altos en el sitio BP de Referencia, particularmente en almacenes como la biomasa arbórea, el suelo y las raíces finas, es porque no se han impactado estos almacenes de manera directa, ya que se ha dejado crecer el bosque con poca intervención humana

desde hace aproximadamente 30 años, lo que permite que el sistema forestal se mantenga más apegado a sus condiciones naturales de desarrollo.

Por otro lado, el sitio BP Manejado es parte del aprovechamiento forestal maderable del cual se extrajo madera en el año 2010, por lo cual los almacenes de carbono que presentan cantidades más altas son las referentes al estrato herbáceo-arbustivo y especialmente en el mantillo, que almacena $24.90 \text{ MgC ha}^{-1}$ a diferencia del sitio de Referencia que fija únicamente 8.05 MgC ha^{-1} . Esto se relaciona con los procesos de sucesión del bosque, ya que las cortas del 2010 son consideradas un agente de disturbio que al abrir espacio permite que especies arbustivas y herbáceas se desarrollen rápidamente, además, el mantillo se ve beneficiado con el aporte de materia orgánica derivada del manejo de desperdicios (residuos del árbol cortado), mismos que se dejan en el sitio después de la intervención (esta actividad se observó directamente en campo).

Respecto a la densidad arbórea, se observa que en general la estructura de los sitios de muestreo es similar, ya que existen árboles de diferentes tamaños, lo cual va de acuerdo a los objetivos del MMOBI, donde se busca tener árboles de diferentes edades. En el sitio BP de Referencia se tiene una densidad de 1308 árboles, mientras que en el BP Manejado se tienen 972.

En ambos casos, más del 80% de los individuos se encuentran en un rango de diámetro de 0 a 30 cm correspondiente a grupos de plantas pequeñas (plántulas) y juveniles. Esta situación es muy favorable, ya que como se mencionó, los árboles jóvenes son los que tienen mayor capacidad para capturar carbono al estar en un proceso de crecimiento.

Los árboles con diámetro de 0 a 10 cm, representan el 41% de los individuos del BP de Referencia, mientras que son el 23% del Manejado. Esto en el mediano plazo representa mayor competencia entre los individuos arbóreos en el sitio BP de Referencia en comparación al otro sitio. Asimismo, un menor porcentaje de individuos en el BP Manejado, denota el impacto de las cortas en el rodal de aprovechamiento maderable y como éstas favorecen el crecimiento, establecimiento y almacenamiento de carbono en árboles con diámetros de 10 a 30 cm (63%). Sin embargo, una menor presencia de árboles de 0-10 cm en el BP Manejado también podría indicar condiciones no favorables para la regeneración natural.

En los dos sitios de muestreo hay presencia de árboles maduros (de 30 a 50 cm de diámetro), 15% en el caso del sitio BP de Referencia y 13% en el Manejado, mientras que los árboles con diámetro mayor a 50 cm, considerados maduros o viejos, representan el 2% de los individuos en cada caso, en general, se considera que estos árboles tienen menor capacidad para

almacenar carbono, pues ya se han desarrollado. La distribución de las clases diamétricas de esta forma en ambos sitios, muestra una estructura incoetánea (objetivo del MMOBI) donde el número de árboles disminuye conforme aumenta el DAP. Según Gerez y Purata (2008) cuando hay muchas plántulas e individuos jóvenes y pocos viejos y maduros, significa que existe suficiente renuevo para reemplazar a los individuos maduros que se corten. Sin embargo, si existe una cantidad mayor de jóvenes puede ser contraproducente para el almacenamiento futuro de carbono.

De acuerdo a Musálem y Fierros (1996), el control de la densidad es importante al estar relacionado con la productividad, la cual puede ser deficiente si la densidad del sitio no es la deseable y deja espacios improductivos, o en caso contrario, el potencial productivo es superior al deseado cuando existen demasiados individuos. En el caso del ejido, al haber una gran cantidad de plántulas y juveniles la densidad deseable se alcanzará a través de las cortas, especialmente los aclareos.

En relación a la composición del bosque, se observan dos especies arbóreas en los sitios de muestreo: *Pinus* y *Alnus*. En ambos sitios la especie más común es el *Pinus* con un 76% en el sitio BP de Referencia y 79% en el BP Manejado, con esto se observa que no existe un cambio en la composición que sugiera que se extraen únicamente las especies más comerciales.

MANEJO FORESTAL

Con el manejo de los bosques a través de la silvicultura, se pretende simular y acelerar el ciclo natural en los bosques (que están en cambios constantes). Según Gerez y Purata (2008), parte de este proceso natural de regeneración es la sucesión secundaria, que tiene que ver con los cambios en la vegetación después de la muerte de los árboles que estaban en el lugar. Con el manejo, se busca imitar los cambios que suceden en esta sucesión, abriendo espacio (claros) para el crecimiento de las especies deseadas y controlando la vegetación con las cortas.

En este sentido, Cortés y Fernández (s/f) señalan que la sucesión ocurre después de una perturbación y que se lleva a cabo en las siguientes fases:

1. *Establecimiento del renuevo en un sitio.*
2. *Autoaclareo, en la que los tallos más débiles y delgados van muriendo, dejando que los más fuertes y vigorosos se conviertan en el bosque.*
3. *Establecimiento de una nueva capa de renuevo debajo de los árboles maduros que se establecieron en la primera fase.*

4. *Madurez, en la que los bosques presentan una estructura variada, formada por árboles de diferentes tamaños, edades y especies.*

De esta manera, con las prácticas silvícolas se replica este proceso. Las reforestaciones, complementan al establecimiento natural, y las cortas de liberación, aclareos y otras, cumplen la función del autoaclareo natural del bosque.

En el ejido, la mayoría de las actividades silvícolas llevadas a cabo durante el manejo, se realizan directamente en la parte aérea del bosque (biomasa arbórea, herbáceas y mantillo), sin embargo, una vez realizada la cosecha para el aprovechamiento maderable, la diferencia entre ambos sitios es mínima siendo 113.43 MgC ha⁻¹ en el BP de Referencia y 102.6 MgC ha⁻¹ en el BP Manejado.

En cambio, se observa una diferencia de 55.13 MgC ha⁻¹ en la parte subterránea, ya que el BP de Referencia fija 250.5 MgC ha⁻¹ mientras que el BP Manejado almacena 188.3 MgC ha⁻¹. Algunos factores que ayudan a explicar esta situación están relacionados con la explotación forestal que se dio en todo el bosque hace 30 años (por la intervención de PROTIMBOS), que pudo causar la degradación en el suelo de este sitio en particular.

Si bien, es complicado establecer una relación entre las actividades silvícolas y el almacén de carbono por el dinamismo del sistema, esta tarea se complica en bosques que siguen el MMOBI, pues algunas actividades se realizan de manera simultánea. Sin embargo, se puede decir que específicamente dentro de los tratamientos silvícolas, hay algunos que repercuten con mayor énfasis cierto estrato.

Por ejemplo, la corta de un árbol en el momento adecuado podrá tener mayores beneficios futuros, pero, si esta acción no se realiza en el momento justo, podrá significar mayores gastos, o bien, un estado de madurez que no supondrá un incremento del almacén. En ese sentido, los aclareos ayudan a obtener árboles más grandes en menor tiempo, al eliminar la competencia y propiciar el aprovechamiento de los nutrientes, la luz y el agua, y con ello favorecer el crecimiento del árbol, situación que se traducirá en un mayor almacén de carbono.

En una investigación realizada por Jurado *et al.* (2006) se evaluó el efecto de dos tratamientos silvícolas sobre la composición y estructura del bosque, comparando dos parcelas, una con aclareos y otra con tratamiento de selección, los resultados arrojaron que hay mayor mezcla y diversidad de especies en la parcela con tratamiento de selección. También Castellanos *et al.* (2008) mencionan que en las áreas bajo manejo, los tratamientos silvícolas

modifican la estructura y diversidad de los bosques y que por ello se debe conocer bien el sistema, pues se debe procurar la complejidad estructural para poder aumentar la productividad y biodiversidad.

PRÁCTICAS SILVÍCOLAS Y ALMACENES DE CARBONO.

Considerando lo expuesto anteriormente, a continuación se presentan las actividades silvícolas que se llevan a cabo en El Telar, tanto en el sitio BP de Referencia como el BP Manejado, así como su impacto en el proceso de captura de carbono y los almacenes.

Es necesario aclarar que *"el carbono almacenado es la cantidad total de C contenida por la biomasa, mientras que el carbono "capturado" es una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa"* (Dávalos, et al., 2008:228). En este sentido, las prácticas silvícolas tienen mayor relación con el proceso dinámico de la captura de carbono, pues también influyen en las transferencias de nutrientes, luz y agua como se observa en la siguiente tabla.

TABLA 18. RELACIÓN ENTRE PRÁCTICAS SILVÍCOLAS Y CAPTURA DE CARBONO.

Actividad		Regeneración			Tratamientos intermedios				Protección y/o actividades complementarias			
		Preparación del sitio - Remoción de la capa superficial del suelo	<i>Regeneración natural o artificial (Reforestación)</i>	<i>Corta de selección (cosecha)</i>	Limpias (chaponeo y deshierbe)	Corta de saneamiento	Poda	Aclareo	Cajeteo	Suelo	Brechas corta fuego	
Almacén MgC ha ⁻¹												
BP Referencia	Biomasa arbórea	104.9	n/a	+	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	0	-
	Herbáceo Arbustivo	0.48	n/a	0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	0	-
	Mantillo	8.05	n/a	0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	+	-
	Suelo	224.31	n/a	+	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	+	-
	Raíces finas	26.22	n/a	+	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	+	-
BP Manejado	Biomasa arbórea	76.55	+	+	-	+	0	0	0	+	0	-
	Herbáceo Arbustivo	1.12	0	0	+	-	+	+	+	0	0	-
	Mantillo	24.9	0	0	+	+	+	0	+	-	+	-
	Suelo	169.17	-	+	-	0	-	0	-	-	+	-
	Raíces finas	19.14	-	+	-	+	-	0	-	+	+	-

*Impacto de la actividad en el almacén: Positivo (+), Negativo (-), Neutral (0). No se realiza la actividad (n/a).

Fuente: Elaboración propia

En la *Tabla 18* se muestra el impacto que cada actividad o práctica silvícola tiene en la captura de carbono, ya sea, Positivo (+), Negativo (-), o Neutral (0), se considera positivo cuando ayuda a acelerar el proceso, negativo cuando lo disminuye y neutral cuando la actividad tiene efectos positivos y negativos.

Es importante señalar que aunque las actividades sean consideradas positivas, negativas o neutrales en el proceso de captura, no todas tienen el mismo grado de impacto en los almacenes. Las actividades que impactan los almacenes de manera relevante son las de regeneración, específicamente las reforestaciones y la cosecha, al aumentar y disminuir el almacén.

De manera general, se observa que las cortas y las actividades extractivas o donde hay remoción del suelo, se consideran con efectos negativos en la parte subterránea, ya que el suelo es un recurso considerado no renovable, por lo que si se pierde durante las actividades silvícolas, su recuperación será más lenta que la de otros estratos.

A continuación se explica cada uno de los impactos de las prácticas silvícolas en la captura de carbono del bosque:

- La **preparación del sitio**, que comprende la remoción de la capa superficial de suelo, es una actividad que se realiza solo en el sitio BP Manejado, y su impacto es principalmente negativo en la parte subterránea del bosque, es decir, en el suelo y las raíces finas, ya que al remover y dejar expuesto el suelo, éste es más susceptible a la erosión. Sin embargo, esta actividad es considerada con un efecto positivo para la biomasa arbórea, ya que propicia la regeneración natural.
- La **regeneración natural o por reforestaciones**, es considerada una actividad que tiene impactos positivos para la biomasa arbórea, el suelo y las raíces finas. Para la biomasa arbórea significa el desarrollo de nuevos árboles que durante su crecimiento van almacenando en su estructura (incluidas las raíces finas) el carbono, incrementando con ello el almacén. Por otro lado, es considerado positivo para el suelo, ya que, el desarrollo de la vegetación es un aporte constante de material orgánico que con el tiempo da paso al desarrollo de procesos biológicos y de suelo nuevo, además, mejora la estructura del suelo y su capacidad de infiltración de agua. Esto se traduce en nutrientes y mayor disponibilidad de agua para la planta, ayudando con ello a su desarrollo.
- La **corta de selección**, se realiza solo en el sitio BP Manejado y su impacto es negativo para la biomasa arbórea, el suelo y las raíces finas. Se considera negativo porque es la principal causa de pérdida del almacén arbóreo al extraerse una gran cantidad de árboles para el aprovechamiento maderable, sin embargo, este almacén se pierde

dentro del bosque, pero continúa cumpliendo su función al quedar contenido el carbono en los productos maderables. Respecto al suelo y las raíces finas, la corta de selección es considerada negativa al perderse suelo durante las maniobras al realizar el aprovechamiento. Por otro lado, es considerado un impacto positivo en el estrato herbáceo-arbustivo y para el mantillo, ya que, al abrirse claros en el bosque, los arbustos y herbáceas se desarrollan con mayor facilidad y velocidad, mientras que el mantillo se ve beneficiado, al esparcir parte de los residuos derivados de la corta, y con ello, aumentar el material vegetal.

- Las **limpias** tienen un impacto positivo en la biomasa arbórea (y raíces finas), ya que se elimina la competencia de las herbáceas y arbustos, favoreciendo con ello el crecimiento de los árboles al tener más disponibilidad de agua y nutrientes. También es una actividad positiva para el mantillo, al aumentar este estrato producto de los residuos del estrato herbáceo-arbustivo, para quien esta actividad representa un impacto negativo al ser removido.
- **Cortas de saneamiento, las podas y los aclareos**, si bien, estas cortas impactan directamente de manera negativa el estrato arbóreo al ser removidos árboles de forma parcial o total, en este caso, son consideradas neutrales para la biomasa aérea, pues favorecen el crecimiento de los árboles deseados al eliminar la competencia de los árboles dañados, enfermos o con características no deseables, situación que incrementa la calidad general del rodal y del bosque, además, se dejan abiertos claros que posibilitan la regeneración y el crecimiento de los arbustos y herbáceas, por lo que esta actividad también es considerada positiva para este estrato. Al igual que con las cortas de selección, las cortas de saneamiento y los aclareos, son considerados con efectos negativos en el suelo y las raíces finas, por la pérdida de estos estratos durante la extracción de los árboles, especialmente en el suelo, donde se tiene uno de los almacenes más estables a largo plazo y cuya recuperación es más lenta respecto a los otros almacenes.
- El **cajeteo** es una actividad que se realiza solo donde se llevan a cabo las reforestaciones, es decir, en el BP Manejado. Tiene impactos positivos para la biomasa arbórea, y con ello, en las raíces finas, pues permite garantizar mayor disponibilidad de agua para los renuevos en crecimiento, incrementando con ello su supervivencia. Sin embargo, al ser retirado suelo y mantillo para su elaboración, estos estratos se ven afectados de manera negativa.
- La protección del suelo, especialmente con el **manejo de desperdicios**, tiene un impacto positivo en la parte subterránea del bosque y en el mantillo, ya que, es un aporte de material vegetal y previene la pérdida

de suelo por erosión. Además, la conservación del suelo brindará en un futuro nutrientes y agua a los árboles y herbáceas para su crecimiento.

- Las **brechas cortafuego**, representan un impacto negativo directo en todos los almacenes, al remover material vegetal y dejar expuesto el suelo, sin embargo, esta actividad se considera benéfica, al prevenir y proteger el bosque de las pérdidas que podría suponer un incendio.

Como se muestra en la tabla, cada actividad tiene diferentes implicaciones, siendo positiva para algunos estratos y negativa o neutral para otros, por lo que se vuelve complicado establecer una relación causa-efecto en el corto, mediano y largo plazo. Además, estas relaciones no son constantes pues dependerá de la frecuencia de las actividades y de la extensión que se cubra del bosque.

Por otro lado, el almacén más grande dentro del bosque se localiza en el suelo, en este sentido, la materia orgánica presente en el suelo está estrechamente relacionada con el carbono, además de ser un indicador de su calidad, al evidenciar la presencia de actividad biológica. En el ejido, el suelo andosol húmico tiene como característica la presencia de materia orgánica, la cual según la la FAO (2002) mejora la agregación y la estabilidad de la estructura del suelo, aumentando con ello la infiltración de agua y la resistencia del suelo a la erosión hídrica y eólica, además, mejora la dinámica y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

El suelo almacena carbono por más tiempo, por lo cual, se debe procurar impactarlo lo menos posible durante el manejo, especialmente durante el proceso de extracción y arrastre de los productos forestales, ya que las condiciones de ladera del área pueden propiciar la erosión del suelo si no son realizadas de manera adecuada, ocasionando la pérdida de materia orgánica. Por ello, el manejo de desperdicios después de la intervención y la gran cantidad de mantillo que se tiene en el sitio BP Manejado, evita la erosión y favorece los procesos de creación del suelo. En cualquier caso, el uso forestal en los suelos andosoles del ejido, es la mejor forma de conservarlos, ya que su calidad y propiedades se ven afectadas por la agricultura, donde presentan bajos rendimientos.

Con la estimación de los almacenes de carbono en ambos sitios, se rechaza la hipótesis planteada en la investigación sobre si los bosques manejados para el aprovechamiento de recursos maderables almacenan más carbono en biomasa y suelo que los bosques destinados a la conservación, debido a que prácticas silvícolas como las reforestaciones y las cortas, incrementan los almacenes.

Los objetivos de esta investigación consideran únicamente los almacenes de carbono dentro del bosque, sin embargo, al realizar un estimado del carbono

almacenado en los productos maderables (*Ver Anexo 2*) se obtiene un almacén promedio de 12.38 MgC ha⁻¹ al año, con lo cual, el carbono almacenado en el sitio BP Manejado incrementaría a 303.26 MgC ha⁻¹. Siendo menor el carbono almacenado en comparación con el sitio BP de Referencia en el año 2013. Sin embargo, si se considera el manejo a largo plazo, los valores de carbono almacenado en los productos maderables de las cosechas, aunado al carbono almacenado dentro del bosque, bien podría ser mayor el carbono encontrado en el sitio Manejado que en el de Referencia.

Cabe señalar, que para el caso de El Telar, se debe tomar en cuenta el momento en que se realizó la estimación de los almacenes (2013), ya que el sitio BP Manejado (donde se aplican las actividades silvícolas, y con corta de selección en el año 2010) presenta resultados muy similares al BP de Referencia, lo cual muestra que el manejo si incrementa los almacenes de carbono dentro del bosque, pues las prácticas silvícolas promueven el desarrollo del bosque y aumentan la velocidad de crecimiento, en especial de los árboles, por lo que las diferencias en la parte área entre ambos sitios no son tan grandes como se esperaría, a pesar de la densidad arbórea después de la cosecha.

Para ayudar a entender las implicaciones de cada práctica, es necesario realizar un monitoreo constante del bosque, y hacer mediciones antes y después de cada ciclo de corta, para poder establecer la relación de cada tratamiento y su repercusión en cada almacén. Especialmente en el suelo, para poder observar de manera más clara el impacto de las prácticas en el almacén.

Gerez y Purata (2008) hacen especial énfasis en la importancia del monitoreo para asegurar que los recursos aprovechados se mantengan, de esta manera se podrán evaluar los cambios en el bosque. Además Cortés y Fernández (s/f) sostienen que el monitoreo es clave para el buen manejo forestal porque permite emprender procesos de mejora continua. Para ello, herramientas como las técnicas de simulación y las parcelas permanentes de monitoreo permiten evaluar el impacto de las practicas silvícolas en la estructura de los bosques. (Jurado *et al.*, 2006).

Además del monitoreo, es importante considerar líneas de investigación donde se determine y ahonde en temas como el carbono unitario, es decir, el carbono en los productos forestales y el ahorrado para poder hacer una cuantificación más exacta de los almacenes. Así mismo, es conveniente incluir y evaluar otros factores que influyen en el crecimiento de los árboles.

Por otro lado, aunque los almacenes de carbono dentro del bosque fueron mayores en sitio BP de Referencia que en el Manejado, en este último se obtienen beneficios para el ejido más allá de los observados desde el punto de vista ambiental, es decir, se muestra cómo es posible obtener beneficios sociales y económicos por parte de los ejidatarios al tiempo que se satisface la creciente demanda de los recursos forestales maderables, contribuyendo así a un aprovechamiento más integral de los bosques.

Con respecto al **Manejo forestal comunitario** o silvicultura comunitaria, se observa que parte de los beneficios del manejo es la atracción, solicitud y autorización de programas que ayudan a cumplir con los objetivos del Programa de Manejo forestal, y con ello de las actividades silvícolas que incrementan los almacenes de carbono. Los apoyos proporcionan el capital financiero inicial para invertir en el sector, además del personal capacitado para acceder a ellos y cumplir con sus requerimientos, por lo tanto, los programas también son parte del manejo con un impacto indirecto en los almacenes.

En ese sentido, el liderazgo del comisariado ejidal y su interacción con actores externos (promotora e ingeniero forestal) permitió conocer y solicitar la "Certificación del Manejo Sustentable de los Bosques" correspondiente a la NMX-AA-143-SCFI-2008, que regula y da los lineamientos que acreditan el adecuado manejo del bosque. Al obtener la certificación se reconoce el éxito de la organización comunitaria en El Telar, convirtiéndose de acuerdo al comisariado ejidal, en el primer ejido del Estado de México en conseguirla.

Gracias a la certificación, el ejido recibe el pago por servicios ambientales hidrológicos de todas las hectáreas de bosque que posee. Además, está en proceso de adquirir el sello correspondiente a la certificación, que les permitirá obtener mayores beneficios económicos a la hora de comercializar la madera.

Algunas de las características del ejido, que le permiten acceder a los programas, son el liderazgo de los representantes de la mesa ejidal, las interacciones con los actores externos, la organización social, la participación, el menor grado de corrupción y la distribución equitativa entre los ejidatarios. Esto se traduce en mejores prácticas de manejo (como la cantidad y mantenimiento de las brechas cortafuegos, la vigilancia y limpieza del bosque), una nueva forma de ver el bosque y la reapropiación del recurso.

La interacción de actores internos y externos es primordial para el manejo del bosque, al proveerle a los ejidatarios la ayuda técnica y las herramientas básicas para entender la dinámica de los bosques, los pasos del manejo y su ejecución. Es un trabajo conjunto entre los diferentes actores que intervienen en los recursos naturales, siendo el punto clave la organización por parte de

los ejidatarios. Pues como menciona Cortés y Fernández (s/f), la clave para el éxito de las empresas forestales comunitarias, es la organización, la participación y el compromiso, tanto de los ejidatarios como de los asesores técnicos.

Si se desearan reproducir los alcances que ha logrado este ejido, sería necesario trabajar desde un sentido multidisciplinario, atendiendo los diferentes niveles de acción e involucrando y uniendo esfuerzos entre los actores (ejidatarios, técnicos y apoyo gubernamental). El simple hecho de partir de una iniciativa de los ejidatarios, permite que sea más fácil la apropiación de los proyectos y con ello su seguimiento.

Sin embargo, una razón que dificulta la reproducción de modelos de éxito como en el ejido El Telar es que muchas veces se buscan resultados inmediatos, cuando al trabajar tan de cerca con las comunidades se debe entender primero sus características, ya que de no hacerlo, los programas no tendrán el alcance deseado, pues no se tienen la flexibilidad para adecuarse a las condiciones del lugar.

Como demuestra el ejido El Telar a pesar de las limitantes y restricciones técnicas y normativas es posible manejar con logros considerables los recursos forestales, sin embargo, es clara la dependencia a los programas institucionales para llevar a cabo las actividades del manejo, lo cual debería cambiar de tal forma que se alcance cierto grado de autonomía en el manejo de los recursos.

Tomando en cuenta, lo mencionado por Gerez y Purata (2008) sobre el grado de participación que se puede tener en un bosque bajo manejo forestal comunitario descrito en el capítulo 1, se observa que el ejido va por buen camino, y que ha alcanzado, casi en su totalidad las características de la venta en rollo de madera (nivel 3), sin embargo, aún es necesario llevar acciones que garanticen su consolidación como empresa forestal en un futuro.

Si bien, el ejido tiene beneficios significativos del manejo de su bosque, aún falta cubrir necesidades dentro de la comunidad, como el acceso a servicios básicos y mayores seguridades de empleo. Aunque el ejido ha empezado a realizar otro tipo de actividades como las artesanías con la palma, la agricultura y el proyecto para establecer una embotelladora, actualmente el aprovechamiento del bosque se basa mayormente en productos maderables, dejando abierta la oportunidad de llevar a cabo una producción diversificada, donde se puedan aprovechar otros productos forestales no maderables.

Sin embargo, es necesario no caer en la dependencia de programas pues se busca la autonomía técnica y financiera de los ejidos, además, el gobierno no

tiene la capacidad (fondos suficientes) para apoyar a todos los ejidos y comunidades, considerando que el 80% de la cubierta forestal está en sus manos.

Es importante mencionar que el Manejo Forestal Sustentable tiene muchas implicaciones, más allá de las controversias propias del concepto, sin embargo, se puede observar la necesidad de realizar un manejo planificado de los recursos forestales con visiones a largo plazo que busquen el beneficio para las comunidades y con ello de la sociedad. En el caso del ejido, la Certificación muestra que de acuerdo a lo establecido en la LGDFS, es posible encaminarse a la sustentabilidad.

Retomando la hipótesis planteada, se observa que el manejo si influye en los almacenes, ya que no solo incluye a las actividades silvícolas, sino otros procedimientos como financiamiento, organización, comercialización, etc. Por lo cual, el manejo no solo ofrece un almacén de carbono extra fuera del bosque (productos maderables derivados del aprovechamiento) sino que aporta otros beneficios como la cohesión de la comunidad, la generación de empleos, la oportunidad de cubrir servicios básicos dentro del ejido, revaloración del bosque, obtención de otros productos no maderables, y el mantenimiento de servicios ambientales.

CONCLUSIONES

- El bosque de pino del ejido El Telar, almacena en el sitio BP de Referencia 363.97 MgC ha⁻¹ y 290.88 MgC ha⁻¹ en el BP Manejado, lo cual muestra que los bosques son un importante almacén de carbono. El suelo es el almacén más grande y las herbáceas y arbustivas el más pequeño. Además, con el manejo se obtiene un almacén fuera del bosque, a través de los productos maderables.
- Con la silvicultura se tratan de imitar los procesos de la naturaleza, todas las actividades silvícolas tienen impactos positivos o negativos en el proceso de captura. Siendo las actividades relacionadas con la Regeneración, las que tienen mayor peso sobre los almacenes de carbono. Sin embargo, el suelo es el que se ve más afectado a largo plazo.
- El manejo no solo comprende las actividades silvícolas, los apoyos de los programas gubernamentales son parte de las acciones de manejo e influyen de manera indirecta en la captura y almacenes de carbono.
- La organización, participación y seguimiento de los proyectos son características clave en los actores internos (ejidatarios) para el manejo del bosque, y en especial para llevar a cabo el MFC o silvicultura comunitaria.
- Actores externos como los promotores e ingenieros forestales, tienen como principal función brindar a los ejidatarios asesoría técnica y promoción de beneficios del manejo forestal, además de ser el vínculo para el acceso a programas gubernamentales.
- Lograr la sustentabilidad en el manejo del bosque en el ejido se observará desde el punto de vista ambiental a largo plazo, por ahora económicamente se observan beneficios distribuidos de manera equitativa y que ayudan al desarrollo local, al cubrir parte de las carencias sociales.
- Los bosques juegan un rol primordial en la dinámica de los sistemas naturales, además de brindar al ser humano beneficios sociales y económicos.

REFERENCIAS

- Acosta, M., Etchevers, J., Velázquez, A. y Vargas, J. (2002) *Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México*. Agrociencia, num. noviembre-diciembre, pp. 725-736.
- Acosta, M., Quednow. K., Etchevers, J. y Monreal, C. (2001). *Un método para la medición del Carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e Inducida en Terrenos de Ladera en México*. México: Colegio de postgraduados.
- Aguirre, O. (1997) *Hacia el manejo de ecosistemas forestales*. Madera y Bosques, vol. 3, núm. 2, otoño, 1997, pp. 3-11.
- Álvarez, G., García, N., Krasilnikov, P. y García-Oliva, F. (2013). *Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la sierra Norte de Oaxaca, México*. Agrociencia. Vol.47. núm. 2. Febrero- marzo 2013.
- Ayala, R. (2001) *Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la Meseta Central de Chiapas*. Tesis (Ing. Agr. Especialista en Bosques).UACH. División de Ciencias Forestales.
- Bravo, F., Fernández, M., Bogino, S., Segur, M., Bravo-Oviedo, A., y Ordóñez, C. (2007) *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. España: Fundación gas natural.
- Carreira, D. (2011) *Cuantificación de la Materia Orgánica del suelo. Método de WALKLEY & BLACK. Jornadas de actualización: Gestión de la calidad en los laboratorios de análisis de suelos agropecuarios*. SAMLA- PROINSA. Rosario.
- Castellanos, J., Treviño, E., Aguirre, O., Jiménez, J., Musalem, M. y López, R. (2008) *Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México*. México. Madera y Bosques 14(2):51-63.
- CCMSS (Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible). (2012) *El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático: las comunidades nos muestran el camino*. [En línea]. Disponible en: http://www.rightsandresources.org/documents/files/doc_2019.pdf
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2010) *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. México: CONABIO.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2001) *Programa Estratégico Forestal para México 2025*. [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/307Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%202025.pdf>
- CONAFOR (2008) *La fotosíntesis. Aprende sobre el proceso de elaboración de alimentos que realizan las plantas*. [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Fotosintesis.pdf>
- CONAFOR (2012a) *Bosques, cambio climático y REDD+ en México*. Guía Básica. México.

- CONAFOR (2012b) *Guía de Mejores Prácticas De Manejo (GMPM) 2012, correspondiente a las áreas de pago diferenciado 3, 4, 5 y 6.* [En línea]. Disponible en: https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjYoo2h7abNAhUSGFIKHc8VDVUQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.conafor.gob.mx%2Fapoyos%2Findex.php%2Finicio%2Fdownload%2F457&usq=AFQjCNF6HJx_BbiJybwK7SMuuO7z5mF-vg
- CONAFOR (2013) *Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México.* [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/49/6317Manual%20de%20Mejores%20Pr%C3%A1cticas.pdf>
- CONAFOR (2015a) *Glosario.* [En línea]. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?page_id=436
- CONAFOR (2015b) *Apoyos* [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/web/apoyos/>
- CONAFOR (s/f) *Bloque 2: Importancia de los bosques para la mitigación del cambio climático. Curso sobre bosques, cambio climático y REDD+ en México.* [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/3893Bosques%20y%20cambio%20climatico.pdf>
- CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2012). *Índice de marginación por localidad 2010.* [En línea]. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010
- CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). (2004) *Alternativas de manejo sustentable para el manejo forestal integral de los bosques de Patagonia.* [En línea]. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PBVyAP/File/A3/PIARFON%20BAP/Proyecto%20de%20Factibilidad%20PIARFON%20BAP.pdf>
- UNFCCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) (1992). [En línea]. Disponible en: http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf
- Cortés, C. y Fernández, E. (s/f) *Guía para el Buen manejo forestal en la Sierra Madre Occidental.* [En línea]. Disponible en: [http://www.alianza-mredd.org/uploads/ckfinder_files/files/GUIA%20PARA%20EL%20BUEN%20MANEJO%20FORESTAL%20\(SPREADS\)-BAJA.pdf](http://www.alianza-mredd.org/uploads/ckfinder_files/files/GUIA%20PARA%20EL%20BUEN%20MANEJO%20FORESTAL%20(SPREADS)-BAJA.pdf)
- Dávalos R., Rodrigues, M. y Martínez, E. (2008). Almacenamiento de carbono en Manson, R., Hernández-Ortiz, V., Gallina, S. y Mehlreter, K. (editores) *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Diversidad, manejo y conservación.* Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INESEMARNAT), México, 348 p.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2002) *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.* [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002

- DOF (2003). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Publicada el 25 de febrero de 2003, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Dirección General de Bibliotecas. [En línea]. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/259_260315.pdf
- DOF (2008) *Norma Mexicana NMX-AA-143-SCFI-2008, para la certificación del manejo sustentable de los bosques*. Publicada el 2 de septiembre de 2008, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Dirección General de Bibliotecas. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5059178
- DOF (2014) *Reglas de Operación PRONAFOR 2015*. Publicada el 28 de diciembre de 2014, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Dirección General de Bibliotecas. [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/web/apoyos/apoyos-2015/>
- Etchevers, J., Monreal, C., Hidalgo, C., Acosta, M., Padilla, J. y López, R. (2005) *Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas*. México: Colegio de Postgraduados.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2002) *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 96. FAO, Roma.
- FAO (2007) *Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- FAO (2010a) *La deforestación disminuye en el mundo, pero continúa a ritmo alarmante en muchos países*. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/40952/icode/>
- FAO (2010b) *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010. Informe Nacional. México*. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/013/al567s/al567s.pdf>
- FAO (2012) *El estado de los bosques en el mundo 2012*. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf>
- FAO (2013) *La FAO, los Bosques y el Cambio Climático. Trabajando con los países para hacer frente al cambio climático por medio de la gestión forestal sostenible*. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/017/i2906s/i2906s00.pdf>
- Figuroa, C., Ángeles, G., Velázquez, A. y De los Santos, H. (2010). *Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de Pinus patula Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol. 1. núm. 1, enero-junio, 2010, pp. 105-112.
- Fragoso, P. (2003). *Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancítaro Michoacán México*. Tesis. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", UMSNH.
- Franco, S. (2009). *Estimación de la captura de Carbono en zonas forestales. El caso del Parque Nacional Nevado de Toluca*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gadow, K., Sánchez, S. y Aguirre, O. (2004) *Manejo forestal con bases científicas*. Madera y Bosques, núm. otoño, pp. 3-16.

- Gallardo, J. (2009) *El reverso filosófico de la captura de carbono: de vueltas al cambio climático*. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235981533_El_reverso_filosofico_de_la_captura_de_carbono_De_vueltas_al_cambio_climatico_2009
- García G. (2007) *Programa de Manejo Forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables. Nivel avanzado. Predio: Ejido el Telar*. Servicios Técnicos Forestales Estado de México.
- Gayoso, J. y Acuña, M. (1999) *Guía de campo: mejores prácticas de manejo forestal*. Universidad austral de Chile. Valdivia.
- Gerez, P y Purata, S. (2008) *Guía práctica forestal de silvicultura comunitaria*. SEMARNAT/CONAFOR/CCMSS. i-ix, 73 páginas. México.
- González, E. (2013) *Manejo forestal y servicios ambientales en Mineral del Monte, Estado de Hidalgo*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gutiérrez, J., Trejo, O., Camacho, S., Castillo, R., Cruz, S. y Castañeda, J. (1998). *Distrito Federal. Educación ambiental. Caminos ecológicos*. México, Editorial Limusa S.A de C.V.
- Homero, D., y Gasca, J., (2004). *Los gases regulados por la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Del libro Cambio climático: una visión desde México*. [En línea]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/dick.html>
- Hughes, F., Kauffman, J. y Jaramillo, V. (1999) *Biomass, Carbon, and Nutrient Dynamics of Secondary Forests in a Humid Tropical Region of México*. Ecology. Vol. 80, No. 6, pp. 1892-1907.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2000) *Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. Reporte 2000*. [En línea]. Disponible en: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=312
- INECC. (2009) *Principales Causas de Pérdida de Hábitat*. [En línea]. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/con-eco-ch/385-hc-perdida>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010). *Principales resultados por localidad (ITER)*. [En línea]. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007) *Climate change 2007: the physical science basis, (summary for Policymakers)*. [En línea]. Disponible en: www.ipcc.ch
- Jaramillo, V., Kauffman, J., Rentería-Rodríguez, L., Cummings, D. y Ellingson, L. (2003) *Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes*. Ecosystems 6:609-629.
- Jurado, E., Corral, J., Solís, R., Aguirre, O., Jiménez, J. y Treviño, E. (2006) *Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México*. Madera y Bosques, num. Otoño, pp. 49-64.
- Kapp, G., Agus, F., Hairiah, K., Verlarde, S. y Van Noordwijk, M. (s/f) *Carbon Measurement*. [En línea]. Disponible en: <http://www.forestcarbonpartnership.org/sites/fcp/files/Documents/tagged/15%20-%20Carbon%20Measurement%20-%20G.Kapp%20et%20al.pdf>

- Larson, J. y Sarukhán, J. (2003) *Cuando los bienes comunes son menos trágicos: dominios eminentes y privilegios comerciales en la valoración patrimonial del México rural*. Gaceta Ecológica, abril-julio, número 067, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 07- 26.
- Martínez E., Fuentes J. y Acevedo E. (2008) *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006
- Montoya, G., Soto, L., De Jong, B., Nelson, K., Farias, P., Yakactic, P. y Taylor, J. (1995) *Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas*. Instituto Nacional de Ecología. Cuadernos de trabajo No. 4. México.
- Mota, L. (2002). *Anexo Proyecto de Norma Oficial Mexicana para Programas de Manejo. Instrumentos Institucionales para el Desarrollo de Dueños de Pequeñas Tierras de Vocación Forestal*. México.
- Murillo, A. (2009) *El manejo forestal y sus implicaciones en la cubierta vegetal y en la estructura demográfica de especies comerciales: Reserva de la biosfera Mariposa Monarca*. Tesis de posgrado. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Musálem, M. y Fierros, A. (1996) *Curso de silvicultura de bosques naturales*. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Norverto, C. (2003) *La fijación de CO2 en plantaciones forestales y en Productos de madera en Argentina*. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0043-B2.HTM>
- Olguín, M. (2001) *Incorporación de la captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral: Estudio de caso en una comunidad de la Meseta Purépecha*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Ordóñez, B. (2008). *Cómo entender el manejo forestal, la captura del carbono y el pago de servicios ambientales*. Ciencias 90, abril-junio, 36-42. [En línea]. Disponible en: <http://www.revistacienciasunam.com/es/45-revistas/revista-ciencias-90/246-como-entender-el-manejo-forestal-la-captura-decarbono-y-el-pago-de-servicios-ambientales.html>
- Ordóñez, B. (2014). "Los estudios de carbono en México", en Orozco, M.E. y Mireles, P. (Coordinadoras) *Carbono en ambientes biofísicos y productivos línea base sobre el cambio climático*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ordóñez, B. y Masera, O. (2001) *Captura de Carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques*. Vol 7, núm. 1. México: Instituto de Ecología A.C. Páginas 3-12.
- Ordóñez, B., De Jong, B. y Masera, O. (2001). *Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus en Nuevo San Juan, Michoacán*. Madera y Bosques 7 (2): 27-47.
- Orozco, L. (ed). (2004) *Planificación del manejo diversificado de bosques latifoliados húmedos tropicales*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Orozco, M.E., Peña, V. y Mireles, P. (2014) "Factores de degradación de los ecosistemas terrestres en México y Estado de México", en Orozco, M.E. y Mireles, P. (Coordinadoras) *Carbono en ambientes biofísicos y productivos línea base sobre el cambio climático*. Universidad Autónoma del Estado de México.

- Quiroz, Y. (2013). *Medición de la captura de carbono en suelos forestales, en la localidad de Cebatí, San José del Rincón, Estado de México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Planeación Urbana y Regional, UAEMéx.
- Sánchez, O. (2011) *Propuesta de Manejo Forestal Sustentable para la comunidad indígena Crescencio Morales del Mpio. de Zitacuaro, Mich.* Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo.
- SEDAGRO (Secretaría de Desarrollo Agropecuario). (2010) *Gobierno del Estado de México, Inventario Forestal 2010*. México.
- Segura, G., Merino-Pérez, L., Bray, D. y Cárdenas, A. (2003) *Manejo forestal comunitario en México: un modelo emergente de manejo sustentable de ecosistemas forestales*. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0944-C1.HTM>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2006) *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. 2005*. México.
- SEMARNAT. (2013) *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2012*. México.
- SEMARNAT. (2014) *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2014*. [En línea]. Disponible en: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43390/ANUARIO FORESTAL 2014.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43390/ANUARIO_FORESTAL_2014.pdf)
- SEMARNAT (2015) *Silvicultura Comunitaria*. [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/silvicultura-comunitaria/>
- SIATL (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas) (2015). [En línea]. Disponible en: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#app=f4c9&e312-selectedIndex=3&7b02-selectedIndex=0
- Valdés, O. y Negreiros, P. (s/f) *El manejo forestal comunitario en México*. Universidad Veracruzana. México.
- Valdez, R. (s/f) *Silvicultura: Principios básicos de los sistemas silvícolas*. SAGARPA. Colegio de Postgraduados. México.
- Vela, G., López, J., Rodríguez, M., Chimal, A., Navarrete, A., Cruz, J. y Bello, V. (2009). *Informe del proyecto: vulnerabilidad del suelo de conservación del Distrito Federal ante el cambio climático y posibles medidas de adaptación. Estimación de carbono orgánico total en los edafosistemas del suelo de conservación del Distrito Federal*. [En línea]. Disponible en: http://www.cvcccm-atmosfera.unam.mx/sis_admin/archivos/sc_vela_informe_final.pdf
- Velázquez, M. (2012) *Efecto del cambio de la cobertura vegetal sobre la captura de carbono en suelo en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Estado de México y Michoacán*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.

ANEXOS

ANEXO 1. BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO FORESTAL

De acuerdo a Cortés y Fernández (s/f), algunas de las prácticas para el buen manejo forestal son:

PRÁCTICAS PARA EL BUEN MANEJO FORESTAL Y SUS CARACTERÍSTICAS.

PRÁCTICAS SILVÍCOLAS	CARACTERÍSTICAS
1. Cortas de regeneración	Se cortan árboles para favorecer el establecimiento del renuevo en el bosque. <ul style="list-style-type: none">• Matarrasas• Árboles semilleros• Selección en grupo o selección individual
2. Cortas intermedias	Se hacen durante el ciclo de corta para mejorar la calidad de la madera que están produciendo los árboles del bosque. <ul style="list-style-type: none">• Cortas de liberación• Preaclareos o aclareos precomerciales• Aclareos• Entresacas• Cortas de saneamiento• Cortas de salvamento, recuperación o rescate• Cortas de limpia• Cortas de mejoramiento
3. Labores silvícolas complementarias	Son todos los trabajos que se hacen para mejorar el estado del bosque y conseguir los objetivos de manejo; se consideran complementarias porque las principales actividades silvícolas son las cortas de regeneración y las cortas intermedias. <ul style="list-style-type: none">• Control de desperdicios• Podas• Tratamientos al suelo• Control de malezas• Establecimiento de cercados y exclusiones• Reforestación complementaria• Manejo del fuego• Control de plagas y enfermedades forestales• Prácticas de conservación de la biodiversidad.

Fuente: Cortés y Fernández (s/f)

Por su parte, la CONAFOR (2012b) elaboró la "*Guía de Mejores Prácticas De Manejo (GMPM) 2012, correspondiente a las áreas de pago diferenciado 3, 4, 5 y 6*", esta guía presenta una lista de las acciones que los beneficiarios del programa de pago por servicios ambientales pueden elegir para mejorar o mantener el sistema forestal.

- *Apertura de zanja trinchera*
- *Zanja bordo*
- *Terrazas individuales*
- *Presas de morillos*
- *Presas de ramas*
- *Presas de piedra acomodada*
- *Presas de gaviones*
- *Cabeceo de cárcavas*
- *Estabilización y/o re-vegetación de taludes*
- *Conservación y mantenimiento de caminos*
- *Acomodo de material muerto a curva de nivel*
- *Reforestación con especies nativas*
- *Recolección de basura*
- *Protección de sitios de anidación de la fauna*
- *Apertura y limpia de canales*
- *Comederos para fauna silvestre*
- *Brigadas de recolección de basura*
- *Monitoreo de plagas y/o enfermedades*
- *Monitoreo de flora y fauna silvestre*
- *Brechas cortafuego*
- *Mantenimiento de brechas cortafuego*
- *Línea negra*

Para la conservación de la biodiversidad en los sitios manejados de ejidos y comunidades, Gerez y Purata (2008) recomiendan acciones como:

- *Establecer áreas de protección donde hay presencia de muchas especies, o donde haya algunas incluidas en la NOM 059, o de algunas que son raras en la región*
- *Establecer franjas de protección a los lados de los arroyos y ríos, y alrededor de los manantiales*
- *Proteger los manchones de bosque maduro que quedan en el territorio ejidal*
- *Proteger las zonas de anidamiento, reproducción y refugio de animales silvestres*
- *Mantener árboles muertos en pie dentro de las áreas bajo manejo forestal*
- *Evitar la cacería de especies raras, y establecer límite de animales y temporada de cacería para las especies comunes.*
- *Definir un reglamento interno que controle las actividades humanas dentro de estas áreas de protección.*

- *Evitar los incendios cerca de estas áreas de protección biológica.*

En este sentido, el "*Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México*" de la CONAFOR (2013), muestra las prácticas recomendadas para proteger la biodiversidad, las cuales divide en tres niveles:

1. *Paisaje: que está integrado por seis prácticas de manejo (Prácticas a nivel paisaje, conectividad de hábitats, claros en el bosque, red de áreas de conservación, protección de hábitats en las partes altas de las cuencas, protección de ecosistemas ribereños, bosques antiguos) que permiten la conectividad de hábitats así como el intercambio de individuos entre poblaciones como resultado de la diversidad estructural de los rodales.*
2. *Rodal: con cinco prácticas (Estructura vertical y horizontal, estructura y diversidad de especies, formación de micro-hábitats, control de actividades recreativas, biomasa residual de la cosecha forestal) que manejan la estructura forestal de los bosques por estar relacionada con el hábitat de muchas especies de plantas y animales.*
3. *Sitio: con tres prácticas específicas para manejar especies o hábitat. Estas son: protección de áreas de importancia crítica, mantenimiento de árboles secos o con cavidades, limpieza de las áreas de corta.*

ANEXO 2. CARBONO ALMACENADO EN MADERA

Considerando que:

- La posibilidad de cosecha total para los diez años en el ejido es de 10,940.758m³ vta (volumen total del árbol), en una superficie de 255.19 hectáreas.
- De acuerdo a la mesa ejidal, de aproximadamente 900m³ que se extraen, 150 son las trozas y residuos, es decir 16%.
- Restando el 16% a la posibilidad de cosecha total (10,940.758m³ vta), quedarían 9,190.24 m³ de madera para venta
- Esto equivaldría a un promedio de 36.013 m³ por hectárea al año, y por ende a 9.003 m³ en un cuarto de hectárea (el área que abarca el muestreo).

De acuerdo al estudio realizado por Norverto (2003)
<i>Para calcular el CO₂ fijado por t de madera maciza empleada para muebles (F11).</i>
Para la especie Pino: 20 m ³ /ha/año (de producción) equivalen a 11 t/ha/año de madera seca.
<i>En El Telar:</i> 36.013 m ³ /ha/año (de producción) equivaldrían a 19.8 t/ha/año de madera seca
$F11 = t * 0.5 * 3.67 * 1.25 = t \text{ CO}_2/\text{ha/año}$
<i>En El Telar:</i> $F11 = 19.8t * 0.5 * 3.67 * 1.25 = 45.416 \text{ t CO}_2/\text{ha/año}$
<i>De CO₂ a C</i> $45.416 / 3.67 = 12.38 \text{ tC/ha/año}$
3.1 tC en un cuarto de hectárea