



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V

Efecto de las actividades agropecuarias y forestales en el
almacenamiento de carbono en ecosistemas de Villaflores, Chiapas

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA TROPICAL

Por

Carlos Alberto Velázquez Sanabria

Director de tesis

Dr. Heriberto Gómez Castro

Villaflores, Chiapas;
Diciembre de 2015.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V

Efecto de las actividades agropecuarias y forestales en el
almacenamiento de carbono en ecosistemas de Villaflores, Chiapas

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA TROPICAL

Por:

Carlos Alberto Velázquez Sanabria

Director:

Dr. Heriberto Gómez Castro

Codirectora:

Dra. María Lorena Soto Pinto
(ECOSUR)

Villaflores, Chiapas;
Diciembre de 2015.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V



Esta Tesis titulada **"EFECTO DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y FORESTALES EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN ECOSISTEMAS DE VILLAFLORES, CHIAPAS"**, fue realizada por el Ing. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA, bajo la dirección y asesoría del Comité Tutorial indicado, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMITÉ TUTORAL
DIRECTOR DE TESIS


DR. HERIBERTO GÓMEZ CASTRO

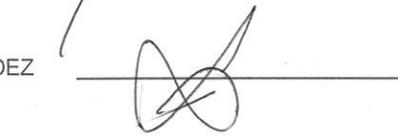
CODIRECTORA


DRA. MARÍA LORENA SOTO PINTO
(ECOSUR)

ASESORES

DR. RENÉ PINTO RUIZ

DR. FRANCISCO GUEVARA HERNÁNDEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V

Esta Tesis titulada **"EFECTO DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y FORESTALES EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN ECOSISTEMAS DE VILLAFLORES, CHIAPAS"**, realizada por el Ing. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA, ha sido aprobada por la Comisión Revisora indicada, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMISIÓN REVISORA

DR. HERIBERTO GÓMEZ CASTRO

DRA. MARÍA LORENA SOTO PINTO (ECOSUR)

DR. RENÉ PINTO RUIZ

Dedicatoria

A mis padres, Juan y María Elisa (+):

El amor que se profesaron es el mejor ejemplo que hoy puedo replicar. Lo mejor que pudo pasarme es ser uno de sus hijos.

A mis hermanos: Lorena, Fabricio, Nadia y Juan:

Los mejores amigos están más cerca de que pensamos, no importa la edad que tengamos, siempre podremos jugar y reírnos juntos.

A mi esposa e hijo: Marisela y Carlos Mario:

Al final del día, por mucho cansancio que tenga, ustedes son la mejor medicina y el motor que me impulsa a seguir adelante, y aunque sé que a ustedes les tocó lidiar con este ser...los amo infinitamente.

A mis sobrin@s y ahijad@s:

El primer paso siempre nos llevará a algún lado. Los sueños se cumplen, solo basta soñar.

A mi familia:

Mi hermosa familia complicada: podrán pasar tormentas fuertes pero el lazo que nos une nunca se romperá. El mejor apoyo, lo tengo con ustedes.

"No tienes que ser grande para comenzar, pero tienes que comenzar para ser grande"
Zig Ziglar

Agradecimientos

A Dios:

Ahí tantas cosas por aprender, gracias por permitírmelo.

A la Universidad Autónoma de Chiapas:

Por una nueva oportunidad de crecimiento.

A los Drs. Heriberto Gómez, Lorena Soto, René Pinto y Francisco Guevara:

Sus experiencias y consejos en este trabajo ayudaron a obtener este producto, ¡gracias!!!

A los catedráticos de la MCPAT:

En especial a la M.C. Angelita, por el tiempo y los consejos proporcionados.

A los amigos de la MCPAT:

Porque sea el principio de una sólida y duradera amistad.

Al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, AC:

En especial, a Juan Manuel, Rossana, Yadira y Denice, por la amistad y apoyo recibidos.

A la Alianza México REDD+:

Por permitirme ser partícipe de un proceso innovador, en especial al Dr. Labougle, Martha, Gloria, Guadalupe, Yvez, Adriana y Guillermo.

A los integrantes de BIOMASA, AC

Por los momentos, apoyos y amistad brindada.

Al CONACYT

Por el apoyo económico brindado durante el tiempo de estudios.

A todas las personas que de una u otra forma ayudaron a la realización de esta investigación.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V

Esta tesis titulada **"EFECTO DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y FORESTALES EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN ECOSISTEMAS DE VILLAFLORES, CHIAPAS"**, forma parte del proyecto "Formulación del Programa Municipal de Manejo del Fuego de Villaflores, Chiapas", financiado por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, AC (Contrato No. B1402003) y del proyecto "Implementación de estrategias y actividades de manejo de los recursos naturales del municipio de Villaflores, Chiapas, para la adaptación y mitigación al Cambio Climático" financiado por la Alianza México REDD+, ambos proyectos ejecutados por Biodiversidad, Medio Ambiente, Suelo y Agua, AC.

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: Producción animal, Ambiente e Innovación local, del Cuerpo Académico en Consolidación Agroforestería Pecuaria.

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: Sistemas Integrados de Producción, de la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical.

CONTENIDO

Agradecimientos.....	
ÍNDICE DE CUADROS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general.....	1
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 Hipótesis	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el Cambio Climático	3
2.2 Actividades humanas y los ecosistemas naturales	4
2.2.1 Perturbaciones	4
2.2.2 Bosques Primarios	7
2.2.3 Bosques Intervenidos	7
2.2.4 Bosques Secundarios	7
2.3 Inventario forestal	7
2.3.1 Métodos de evaluación de combustibles forestales	8
2.4 Cuantificación de carbono atmosférico.....	9
2.4.1 Métodos de medición de carbono	11
2.5 Uso del Sistema de Información Geográfica en las perturbaciones	12
2.5.1 Capas de usos de suelo y vegetación de INEGI.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Diseño de la investigación y enfoque metodológico.....	14
3.2 Localización geográfica del sitio	14
3.3. Metodología.....	15
3.3.1. Selección de ecosistemas	15

3.3.2. Actividades humanas en los ecosistemas.....	15
3.3.3 Impacto de las actividades agropecuarias en los últimos cinco años	16
3.3.4. Cuantificación de carbono almacenado.....	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Selección de ecosistemas	23
4.2 Perturbaciones humanas	24
4.2.1 Frontera agropecuaria	28
4.2.2 Producción de café.....	30
4.2.3 Extracción de leña	31
4.2.4 Incendios forestales	34
4.2.5 Superficie impactada por las principales perturbaciones en los ecosistemas	36
4.3 Cuantificación de carbono almacenado.....	37
4.3.1 Carbono en árboles.....	37
4.3.2 Carbono en material orgánico muerto	40
4.3.3.- Carbono en suelo	41
4.3.4 Carbono total	43
PROPUESTA DE MANEJO POR ECOSISTEMA	45
5. CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
6. LITERATURA CITADA	52
7. ANEXOS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Estratos y componentes, y sus variables cualitativas y cuantitativas de la cama de combustibles	9
2	Descripción de los distintos tipos de depósitos de carbono	11
3	Concentrado de especies encontradas en los ecosistemas muestreados en Villaflores, Chiapas	20
4	Fórmulas seleccionadas para cada ecosistema estudiado	20
5	Principales perturbaciones identificadas en las comunidades en estudio	25
6	Superficies dedicadas a las actividades agropecuarias y forestales en las comunidades en estudio	27
7	Comparativo de superficies entre la Serie IV y V de INEGI para Villaflores, Chiapas	29
8	Consumo estimado de leña por familia y por comunidad	32
9	Superficie afectada por incendios forestales en tres ecosistemas de Villaflores, durante el periodo 2007 al 2014	34
10	Superficie afectada por las perturbaciones en cada ecosistema	36
11	Carbono contenido en árboles por ecosistema muestreado	40
12	Biomasa y carbono total en material orgánico muerto por ecosistema y perturbación	41
13	Cantidad de carbono almacenado por ecosistema estudiado	43
14	Cantidad de Carbono total almacenado en ecosistema con algún tipo de perturbación estudiada (incluye árboles, materia orgánica muerta y suelo)	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Macrolocalización del municipio de Villaflores, Chiapas	15
2	Pasos para determinar impacto de leña con ayuda del SIG	17
3	Ecosistemas y comunidades seleccionadas	23
4	Área impactada por la extracción de leña en tres ecosistemas de Villaflores, Chiapas	32
5	Ubicación y número de incendios forestales en los ecosistemas seleccionados en el periodo 2007-2014	35
6	Sitios de muestreo en áreas perturbadas y no perturbadas en bosque mesófilo	38
7	Sitios de muestreo en áreas perturbadas y no perturbadas en bosque de pino	38
8	Sitios de muestreo en áreas perturbadas y no perturbadas en selva baja	39
9	Carbono en suelo a dos profundidades en los ecosistemas y perturbaciones estudiadas	42

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el impacto que tienen las actividades humanas sobre el almacenamiento de carbono en tres ecosistemas del municipio de Villaflores, Chiapas. La investigación se realizó en dos etapas, en la primera se ubicaron y seleccionaron los ecosistemas a partir de un análisis en un sistema de información geográfica (SIG), así como la identificación de las actividades humanas de mayor importancia, a través de una revisión bibliográfica, entrevista semiestructurada a actores clave y observación directa. La segunda etapa consistió en cuantificar y comparar el carbono existente en sitios perturbados y no perturbados en los ecosistemas seleccionados; a partir de un inventario forestal, se tomaron medidas dasométricas de los árboles para estimar el carbono almacenado en ellos, por medio de las fórmulas alométricas recopiladas por De Jong (2015). A lo anterior se agregó el material orgánico muerto (MOM) y el carbono orgánico presente en el suelo a profundidades de 10 y 20 cm. Por último, se sumó el carbono por estrato (árboles, MOM y suelo) para obtener el carbono total por ecosistema y perturbación, para posteriormente hacer comparaciones utilizando un diseño completamente al azar, considerando como factores al ecosistema y al tipo de perturbación, con una comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) y discusión de los resultados.

Los ecosistemas seleccionados fueron el bosque mesófilo, bosque de pino y selva baja, en donde se observaron que las perturbaciones que mayormente afectan el almacenamiento de carbono son la extracción de leña, la producción de café, las actividades agropecuarias y los incendios forestales. En las comunidades de la parte alta de la sierra hay una tendencia a la “ganaderización”, lo cual se puede constatar por un incremento de 22880.66 ha en el periodo comprendido entre los años 2007 y 2013 (INEGI, 2014), a pesar de encontrarse dentro de un Área Natural Protegida.

Así mismo, la extracción de leña tiene el mayor efecto sobre el almacenamiento de carbono en los tres ecosistemas estudiados, seguido de las actividades agropecuarias y de los incendios forestales. Se encontró que la superficie afectada por la extracción de leña fue de 87%, 83% y 32% de la superficie total de selva baja, bosque de pino y bosque mesófilo respectivamente.

Los resultados obtenidos reflejan que el bosque mesófilo con cultivo de café o sin ningún cultivo almacena la mayor cantidad de carbono, con un total de 2'987,179.12 y 1'774,847.70 t C respectivamente, mientras que la selva baja afectada por incendios forestales y extracción de leña, presenta los valores más bajos, con 22.38 y 23.88 t ha⁻¹ C respectivamente.

Con base en lo anterior, el presente trabajo evidencia que el cultivo de café resulta favorable para el aumento de los acervos de carbono, al aumentar la cantidad de árboles por superficie o por la selección diferenciada de las especies, por lo contrario, la extracción de leña es la perturbación que mayor impacto está causando a los ecosistemas estudiados, tanto en los acervos de carbono como en la superficie total.

Dentro de las estrategias de manejo que sugieren implementarse para disminuir la presión que existe hacia estos ecosistemas, se puede mencionar una intervención en tres fases, donde se incluya desde de la organización comunitaria y planeación territorial, hasta la producción, protección, restauración y conservación de los ecosistemas, desde una perspectiva integral y secuencial, de acuerdo a las características, recursos y necesidades que se tengan en cada comunidad.

Palabras claves: SIG, inventario forestal, carbono almacenado, manejo del territorio.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las condiciones ambientales que aseguran la supervivencia de los seres vivos en el planeta, han experimentado cambios. Las repercusiones se hacen notar en los sistemas sociales y económicos, con sus respectivas consecuencias para la flora y fauna en general (IPCC¹, 2007). El fenómeno del Cambio Climático es un tema actual en donde las respuestas aún se siguen desarrollando; muchos investigadores están contribuyendo con información que ayude a tomar decisiones en un futuro a corto, mediano y largo plazo. Se considera que los gases de efecto invernadero (GEI) son los responsables en gran parte de dicho fenómeno, en donde el dióxido de carbono (CO₂) es el GEI prevaeciente en la atmosfera (CONAFOR², 2010).

Las perturbaciones ambientales son, de acuerdo a Pickett y White (1985), "eventos que ocurren de manera relativamente discreta en el tiempo y modifican el estado, el ambiente físico o la estructura de un ecosistema, comunidad o población, reiniciando procesos de regeneración y sucesión". La comprensión de la importancia ecológica de las perturbaciones en ecosistemas particulares, sobre todo en respuesta a la perturbación humana, requiere estudios integrativos realizados a través de los programas de investigación a largo plazo (Foster *et al.*, 1998). Actualmente, esta información es deficiente para la mayoría de los ecosistemas mexicanos, en particular para los trastornos humanos a gran escala, como la deforestación, uso de la tierra, y el agua y la contaminación del aire.

Con base a lo anterior, surge el interés de generar de información sobre el uso del suelo en los ecosistemas y los efectos que tienen sobre ellos las perturbaciones humanas, ya sea en el tiempo o en el espacio, tomando en cuenta el ámbito social, ambiental y tecnológico, bajo el supuesto que es posible desarrollar acciones de manejo de ecosistemas perturbados, a partir de la identificación de las diferentes actividades humanas que impactan dichos ecosistemas para promover su restauración, protección y/o conservación.

En este contexto, el presente trabajo incluyó los objetivos siguientes:

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el impacto que tienen las actividades agropecuarias y forestales en el almacenamiento de carbono de tres ecosistemas del municipio de Villaflores, Chiapas, y establecer la línea base de conocimientos para proponer acciones de conservación en dichos ecosistemas.

¹ Panel Intergubernamental de Cambio Climático

² Comisión Nacional Forestal

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Identificar y determinar la superficie perturbada por las principales actividades agrícolas, ganaderas y forestales, en los ecosistemas en estudio.
- b) Cuantificar la cantidad de carbono total (árboles, materia orgánica muerta y suelos) almacenado en sitios perturbados y no perturbados de tres ecosistemas, para su posterior comparación y propuesta de manejo para su conservación.

1.2 Hipótesis

La evaluación de las diferentes perturbaciones antropogénicas sobre los recursos naturales y la cuantificación de la reducción en el almacenamiento del carbono atmosférico, permitirá establecer una línea base que ayudará a proponer las actividades de manejo para la conservación de los principales ecosistemas en el municipio de Villaflores, Chiapas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el Cambio Climático

El cambio climático es un proceso que incluye una variación en el estado del clima, que se expresa en las fluctuaciones del valor medio o en la variabilidad de los factores que la determinan, las cuales persisten durante largos periodos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o al uso de la tierra (Baede *et al.*, 2007). En México, las actividades de agricultura y el cambio de uso de suelo ocasionan el 30% de las emisiones de GEI medidos en equivalentes de CO₂ (CONAFOR, 2010). En lo que respecta a Chiapas, la situación no es nada halagadora, presentándose casi un 62% en estas actividades, considerando que las condiciones de alta marginación y pobreza, junto con la dispersión poblacional han inducido a que la degradación ambiental sea progresiva y constante en su superficie (PACCCH¹, 2012).

Para el caso del Municipio de Villaflores, se considera que actividades como la agricultura y ganadería, con más de 700, 000 has ocupadas (INEGI, 2014); el uso de leña, con un consumo cercano a 80 t/diarias (IMTA², 2009); los incendios forestales con 1149 has afectadas en el 2013 (CEMIF³, 2013); la industria avícola (una de las tres mayores empresas del sureste) y al parque vehicular con 14619 vehículos (INEGI, 2013) son las más importantes generadoras de los GEI. No obstante que existen estudios para determinar las cantidades de emisiones por sector o actividad, es muy incipiente el conocimiento que se tiene de las cantidades de carbono almacenado en los diferentes ecosistemas de los trópicos secos, así como su dinámica de captura, almacenamiento y emisión.

Si se considera que los bosques tropicales contienen aproximadamente 40% del carbono acumulado en la biomasa terrestre, es evidente que cualquier perturbación podría resultar en un cambio significativo en el ciclo de carbono (Phillips *et al.*, 1998; Stephens *et al.*, 2007). Con base a lo anterior, resulta importante conocer la magnitud del impacto de las principales actividades agrícolas, pecuarias y forestales en los diferentes ecosistemas del trópico seco, para poder establecer patrones de almacenamiento, emisión y flujos de carbono y contribuir a desarrollar actividades de mitigación y adaptación al cambio climático.

¹ Programa de Acción contra en Cambio Climático de Chiapas

² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

³ Centro Municipal de Incendios Forestales de Villaflores

2.2 Actividades humanas y los ecosistemas naturales

Los fenómenos naturales, como fenómenos hidrometeorológicos e incendios forestales, se convierten en desastres cuando afectan a las poblaciones humanas y sus condiciones de vida, su economía e infraestructura. Los cambios de uso de suelo y el cambio climático están modificando los regímenes naturales de perturbación (Manson *et al.*, 2009). La mayor parte del manejo forestal comunitario en los países en desarrollo consiste en la gestión de los bosques naturales que, de otra manera, serían degradadas o deforestadas y la producción de emisiones de carbono (Verplanke y Zuhabu, 2009).

2.2.1 Perturbaciones

Considerando a una perturbación como una actividad que “rompe” o degrada con el proceso natural de crecimiento del ecosistema. Entender las consecuencias ecológicas de las perturbaciones y su influencia en la estructura y dinámica del mosaico de parches en el paisaje es particularmente importante para conservar la biodiversidad (Pickett y White, 1985; Christensen *et al.*, 1996; Christensen, 1997). La conservación involucra necesariamente una paradoja, ya que se busca preservar sistemas que, de entrada, son dinámicos y cambiantes (White y Bratton, 1980; Botkin, 1990; Ostfeld *et al.*, 1997).

Es esencial entonces reconocer la importancia de los procesos que regulan el funcionamiento de los ecosistemas y, en lugar de intentar restringir su variación natural, utilizar nuestro conocimiento acerca de ellos para minimizar o controlar ciertos efectos ambientales “indeseables”. De hecho, varios estudios han demostrado que suprimir las perturbaciones que han formado parte de un ecosistema genera consecuencias negativas. Por ejemplo, en ecosistemas forestales con un régimen histórico de incendios frecuentes leves, suprimir el fuego provoca acumulación de combustibles e incendios severos, destructivos e incontrolables (Agee, 2002; Myers, 2006), por lo que es más recomendable restaurar el régimen de fuego utilizando quemas prescritas (Agee y Skinner, 2005). En este sentido, la heterogeneidad creada por las perturbaciones y los procesos de regeneración y sucesión subsiguientes es necesaria para el mantenimiento de la biodiversidad (Bormann y Likens, 1979; Romme y Knight, 1981; Forman y Godron, 1986; White y Jentsch, 2001).

Dentro de los principales factores que afecta esta dinámica están las actividades antropogénicas (extracción de leña, incendios forestales, deforestación y presión agropecuaria) y naturales (deslaves, huracanes, entre otros), que influyen en los procesos naturales de los bosques y selvas. La perturbación es una fuerza ecológica importante que afecta la estructura, la dinámica, la productividad y la biodiversidad de los ecosistemas (Paine *et al.*, 1998; Turner *et al.*, 1998; Nystrom *et al.*, 2000). Las

actividades humanas causan perturbación generalizada y es de suma importancia para entender cómo, a qué tasa, y en qué medida tales perturbaciones afectan la integridad de los ecosistemas y su capacidad de proporcionar servicios esenciales para la sociedad (Wu, 1995). Los estudios a largo plazo pueden proporcionar información de referencia para identificar los ecosistemas de respuesta y recuperación después de que ambas trayectorias trastornos pequeña y gran escala (Turner *et al.*, 2003). Para el caso de los ecosistemas del municipio de Villaflores, existen perturbaciones muy marcadas como producción de café, incendios forestales, extracción de leña y las actividades agropecuarias.

2.2.1.1 Producción de café

El cultivo de café se presenta como un método alternativo de producción que tiene su origen en el enfoque ecologista de la agricultura. Surge como una respuesta a los bajos precios y la incosteabilidad del cultivo, por la utilización de sistemas tecnológicos que requieren de insumos externos. También es considerada, una actividad preponderantemente ecológica, que contribuye a la preservación de la biodiversidad de especies tanto vegetales como animales, permitiendo la convivencia armónica entra la sociedad y el medio ambiente (Moguel y Toledo, 1999). El sector campesino se caracteriza por pequeñas unidades de producción, generalmente, de 0.4 a 5 ha por productor. La producción se caracteriza por la baja utilización de insumos, trabajo familiar y disponibilidad de capital monetario en pequeñas cantidades destinadas a contratar mano de obra temporal. El sistema de producción de café entre los campesinos es el Sistema Rusticano o de Montaña, en el cual, las plantas del sotobosque (tanto arbustivas como herbáceas) han sido reemplazadas por arbustos de café, los que no se ubican según un arreglo topológico definido. Las parcelas se caracterizan por poseer sombra nativa del bosque, con una densidad de 200 a 300 árboles de sombra por hectárea (REBISE¹, 2008).

2.2.1.2 Actividades agropecuarias

La Frailesca, en el estado de Chiapas, es una región maicera reconocida en la entidad y el país porque durante los últimos 40 años recibió en repetidas ocasiones el premio nacional “mazorca de oro” por su record de maíz producido. Sin embargo, esos galardones han implicado un uso indiscriminado de agroquímicos, semillas transgénicas, mecanización y, por supuesto, cantidades desmesuradas de combustibles fósiles, que a la larga ha generado una alta dependencia económica de subsidios (Rodríguez *et al.*, 2012). Se observan extensiones de tierras dedicadas al cultivo del maíz y frijol, en donde la topografía accidentada constituye una serie de mosaicos conformada de parches de vegetación natural, áreas ocupadas por

¹ Reserva de la Biósfera “La Sepultura”

potreros y tierras dedicadas a la agricultura. Por otro lado, en muchas localidades, su economía se sustenta a partir del fomento de la ganadería, en general las tierras cubiertas de pastizales se extienden hasta los límites que constituyen la montaña, se practica una ganadería de tipo extensivo debido en gran medida a que se generan escasos excedentes con las actividades agrícolas, pero también a que no se cuenta con apoyos suficientes y a las tierras altamente accidentadas y de suelos delgados y pobres (REBISE, 2008).

2.2.1.3 Incendios forestales

Se considera un incendio forestal a un fuego que quema vegetación forestal viva o muerta, fuera del ambiente urbano o de estructuras urbanas o industriales. Su alcance abarca todos los incendios programados o no programados en bosques naturales, bosques plantados, áreas naturales protegidas, praderas, pastizales, matorrales, arbustos y otros tipos de vegetación, incluyendo los incendios en ciénagas y pantanos (FAO, 2006).

Recientemente, se le ha reconocido al fuego como un elemento importante en los procesos de conservación y restauración de ecosistemas forestales, ya que muchas áreas dependen de dicho elemento para mantener su composición de especies, hábitats y salud. A estos ecosistemas se les ha denominado dependientes del fuego, tales como los bosques de pino, pino encino, palmales, sabanas y pastizales. En contraste, existen otros ecosistemas en donde el fuego puede implicar la pérdida o desaparición de especies, destrucción del hábitat, y en general pueden tener afectación o degradación. A estas áreas se les conocen como ecosistemas sensibles al fuego, como todos los tipos de selvas, vegetación riparia, manglares y bosques mesófilos de montaña. Así mismo, existen ecosistemas en los cuales el fuego presenta ni amenaza ni beneficios para su subsistencia, a éstos ecosistemas se les denomina independientes del fuego, en ellos podemos encontrar a los desiertos, tundra y bosques lluviosos sin estación definida, entre otros (CONANP¹ y TNC², 2009).

2.2.1.4 Extracción de leña

La leña es un combustible vital para el bienestar básico y para la actividad económica en los países en desarrollo, tanto en el área rural como en la urbana (Bhatt y Tomar, 2002; Rijal y Yoshida, 2002). A nivel nacional una cuarta parte de los hogares mexicanos, especialmente en las zonas rurales y áreas periféricas de las ciudades (27.2 millones de personas) cocinan exclusivamente con leña (18.7 millones de personas) o en combinación con gas (8.5 millones) (Díaz y Maserá,

¹ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

² The Nature Conservancy

2003). El uso de leña predomina sobre el uso total de energía. Por otra parte, la venta informal (ilegal) de leña es una práctica común en la zona, ya que no se cuenta con permisos autorizados y dicha venta no satisface la demanda del producto (Niños Cruz, 2007). Entre los pobladores existe la percepción de “escasez” de leña, ante la demanda actual, que no puede ser cubierta por los volúmenes que se extraen y, por lo tanto, no se dispone de la debida información con la cual pudiera analizarse la posible sostenibilidad de extracción de leña. Asimismo, el conocimiento tradicional que las comunidades campesinas poseen es valioso para desarrollar una o más estrategias que permitan conciliar la necesidad de usar diferentes especies, al tiempo de reducir la presión sobre otras áreas que podrían recuperarse naturalmente (González-Espinosa *et al.*, 2007).

2.2.2 Bosques Primarios

Los bosques primarios se definen como bosques vírgenes o bosques poco afectados y solamente de forma temporal por factores antropogénicos (Lamprecht, 1990, citado por Ulate-Quesada, 2011)). Una función importante de los bosques primarios es la conservación de la biodiversidad, debido a la alta cantidad de flora y fauna que dependen del equilibrio de sus ecosistemas (Quirós, 2002). La biomasa existente en los bosques tropicales, juega un papel muy importante en el ciclo global del carbono, ya que puede presentarse como un reservorio de carbono en sitios no alterados, o como fuente de dióxido de carbono en las zonas que han sido sometidas a deforestación. Sin embargo, la magnitud absoluta y los determinantes ambientales de la biomasa de los bosques tropicales son poco conocidos (Malhi *et al.*, 2006).

2.2.3 Bosques Intervenidos

Los bosques intervenidos se definen según Quesada (2009) como bosque natural, que fue sometido a una intervención humana, que comúnmente se le llama aprovechamiento, intervención forestal, cosecha o extracción forestal.

2.2.4 Bosques Secundarios

El crecimiento forestal que se produce naturalmente después de un disturbio, perturbación al ecosistema o modificación drástica del bosque, causada por catástrofes naturales o por intervención humana es conocido como Bosque secundario (Brown y Lugo, 1990; Müller *et al.*, 1992).

2.3 Inventario forestal

El inventario forestal es el procedimiento para la obtención de información cuantitativa y cualitativa de los recursos forestales, vegetación asociada, componentes y características del área. El punto de partida es diseñar un tipo de muestreo que genere la información que se quiere obtener, de acuerdo con los

objetivos y que cumpla con los requisitos básicos para obtener una muestra estadísticamente válida que represente el fenómeno que se quiere estudiar. El diseño del muestreo para el establecimiento de estos sitios o parcelas puede ser dirigido o selectivo (cuando lo que interesa es solo comparar condiciones contrastantes o típicas de un lugar), sistemático (cuando se quiere caracterizar la variación a través de gradientes o facilitar la localización de sitios de muestreo en el campo, asumiendo que este método tiene limitaciones de análisis estadístico), o aleatorio (cuando se quiere tener mejor información desde el punto de vista estadístico) (CONAFOR, 2010).

En el caso de los inventarios de recursos forestales, lo ideal es realizar primero una estratificación y, posteriormente muestrear, los diferentes estratos, condiciones o clases con un diseño aleatorio. El tamaño de muestra debe ser lo suficientemente grande para estimar los valores medios y la variación de las variables que se van a medir. Sin embargo, hacer un muestreo verdaderamente aleatorio es costoso y difícil en el campo, por lo que comúnmente se utilizan muestreos sistemáticos, tratando de cubrir homogéneamente el área de estudio y tratando de captar su variación interna. El uso de muestreos sistemáticos tiene implicaciones para los análisis estadísticos que se basan en supuestos de aleatoriedad. En un muestreo sistemático, estratificado por las clases definidas de vegetación, se puede subdividir el predio o área de estudios en rodales (porciones del área o del bosque que tienen las mismas características de estructura y composición) a partir de mapas de vegetación, fotografías aéreas o imágenes de satélite. Las parcelas o sitios de muestreo se establecen de manera regular dentro de la superficie del rodal, de acuerdo con el tamaño de dicho rodal, su heterogeneidad y la intensidad de muestreo deseada en cuanto a representatividad y confiabilidad estadística, y considerando los costos de muestreo (INFyS¹, 2010).

2.3.1 Métodos de evaluación de combustibles forestales

Las camas de combustibles son complejas en su estructura, propiedades físicas y origen biológico. Por lo tanto, su caracterización requiere de la implementación de diversos métodos, desde inventarios forestales convencionales aplicados en la planificación de aprovechamientos forestales, hasta métodos específicamente desarrollados para la evaluación de combustibles en estudios relacionados con el manejo de combustibles y la ecología del fuego (INFyS, 2010).

Las variables cualitativas y cuantitativas de los componentes se pueden evaluar de forma separada o conjunta, y nos pueden proporcionar la información necesaria para poder realizar una evaluación ya sea detallada o general de la estructura y

¹ Inventario Nacional Forestal y de Suelos

composición de los combustibles forestales y así tener elementos para conocer su influencia en el comportamiento y efectos del fuego a diferentes escalas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estratos y componentes, y sus variables cualitativas y cuantitativas de la cama de combustibles.

Estratos	Componentes	Variables cualitativas	Variables cuantitativas	
Dosel	Árboles	Estructura del dosel	Altura del dosel	
		Tipo de copa	Altura a la copa viva % de cobertura	
	Árboles muertos en pie	Categoría diamétrica	Diámetro Altura	
Arbustos	Arbustos	Tipo de hojas	Árboles por hectárea Amplitud	
		Hábito de crecimiento	% de cobertura	
		Potencial de aceleración	Altura	
Vegetación de baja altura	Pastos	Grosor de la hoja	% de combustible vivo	
		Hábito de crecimiento	% de cobertura	
			Altura % de combustibles vivos % de cobertura	
Material leñoso caído (MLC)	Hierbas	MLC firme	Altura	
			Clase de tamaño	Carga (Mg ha ⁻¹) Profundidad
	Tocones	MLC podrido	Clase de tamaño	Carga (Mg ha ⁻¹)
Clase de putrefacción			Tallos/ha Diámetro	
Hojarasca superficial	Hojarasca	Acumulaciones	Altura Ancho Largo Número por hectárea	
			Tipo de material	Carga (Mg ha ⁻¹)
			Distribución vertical	% de cobertura Profundidad
Combustibles del suelo	Capa de fermentación	Distribución vertical	Carga (Mg ha ⁻¹) Profundidad	
			Acumulación basal	Tipo de acumulación

Fuente: basado en Sandberg *et al.*, 2001.

2.4 Cuantificación de carbono atmosférico

Los bosques, como fuentes de servicios ambientales, por su ubicación geográfica y a su vez por el entorno socioeconómico en que se encuentran, cada vez son más vulnerables debido a causas como los incendios forestales, tala ilegal, actividades de tipo antropogénica para la agricultura y la ganadería, que hasta en décadas pasadas su utilización se basaba en prácticas no sostenibles con el manejo de los recursos. Masera *et al.*, (2001) estimaron que, en México, cerca de 20 millones de personas usan la leña como principal fuente energética para uso doméstico, causa importante

en la producción de CO₂. La mitigación del cambio climático exige mantener niveles de CO₂ en la atmósfera por debajo de un cierto rango, que probablemente hayamos superado ya (IPCC, 2007). Para reducir este nivel, es necesario capturar más CO₂ de la atmósfera y fijarlo en la biosfera mediante sumideros de carbono capaces de absorber más CO₂ del que se emite (González, 1990).

Es importante mencionar que existen trabajos sobre almacenamiento de carbono en áreas específicas del trópico, tal es el caso de los estados de Yucatán, Campeche y Chiapas (Montoya *et al.*, 1995; De Jong *et al.*, 2001; Soto-Pinto *et al.*, 2004; Esquivel, 2005) con información sobre la dinámica de almacenamiento y emisión que tienen los diferentes usos de suelo del trópico seco y húmedo, pero no son atendidos desde la perspectiva de los efectos de las actividades humanas en ecosistemas perturbados y no perturbados; por lo tanto, en este trabajo se cuantificó el grado de impacto que tienen las actividades agrícolas, ganaderas y forestales en el almacenamiento de carbono atmosférico en los principales ecosistemas de una región con trópico seco en el estado de Chiapas, lo cual conllevará a obtener información relevante para el mantenimiento, protección y restauración de los mismos y, por consecuencia, la reducción de los GEI y la sustentabilidad de las actividades humanas.

Las limitaciones asociadas con los métodos directos han llevado a que numerosos investigadores desarrollen relaciones matemáticas, comúnmente referidas como ecuaciones alométricas, las cuales relacionan la biomasa sobre el suelo de árboles individuales con otras características de los árboles que son fácilmente medidas en el campo. Estas características incluyen el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total y densidad de la madera. Investigadores de todo el mundo han desarrollado cientos de ecuaciones alométricas para especies individuales de árboles y grupos de especies de árboles (Walker, 2011).

La biomasa total de cada individuo se obtiene mediante la suma de la biomasa de los distintos componentes del árbol. Una vez obtenida la biomasa total de los árboles muestreados se trata de obtener, mediante técnicas estadísticas, relaciones directas entre la biomasa total del árbol y las variables del mismo medidas en pie. Para el cálculo de biomasa viva con base en ecuaciones alométricas basta con diseñar un muestreo estadísticamente representativo en el que se midan las variables independientes de la ecuación alométrica seleccionada. Los datos finales pueden ser presentados por clase diamétrica (Vallejo *et al.*, 2007).

Brown (1997) estimó que la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, secundarios y plantaciones forestales, casi en su totalidad asume el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% para todas las especies en general. Se parte del principio de que aproximadamente 50% de la biomasa

estimada es carbono y, por tanto, puede ser adicionada a la atmósfera como dióxido de carbono (CO₂) cuando este se corta y quema (Morrissey y Justus, 1998).

2.4.1 Métodos de medición de carbono

El inventario cuantifica el almacenamiento de carbono en diferentes depósitos presentes en distintos usos de ecosistemas de la tierra, permitiendo también medir el impacto de un determinado proyecto en la remoción (secuestro) del dióxido de carbono (CO₂) presente en la atmósfera, por medio de su fijación en la biomasa existente (Rügnitz, 2009).

De acuerdo con la Guía de Buenas Prácticas del Uso de la Tierra, cambio del Uso de la tierra y bosques (GBP UTCUTS) existen cinco tipos de depósitos de carbono que pueden ser medidos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de los distintos tipos de depósitos de carbono.

Tipo de depósito		Descripción
Biomasa viva	Biomasa sobre el suelo	Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, incluyendo troncos, tocones vivos, ramas, cáscaras, semillas y hojas. Para facilitar las mediciones se evalúan por separado (biomasa aérea arbórea y aérea no arbórea).
	Biomasa subterránea	Toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen raíces finas de menos de 2 mm de diámetro.
Materia Orgánica muerta	Madera muerta	Toda biomasa forestal no viva: troncos caídos, árboles muertos en pie, y tocones mayores de 10 cm de diámetro.
	Hojarasca	Toda la biomasa no viva sobre el suelo (hojas, ramas y cáscaras de frutos) en diferentes estados de descomposición. Comprende las capas de detritos y humus.
Suelos	Materia Orgánica del suelo	Comprende el carbono orgánico en los suelos minerales y orgánicos a una profundidad específica.
		Raíces finas vivas con diámetro menor de 2 mm.

Fuente: IPCC, 2005

El método más directo para estimar la biomasa sobre el suelo de un árbol implica una serie de pasos incluyendo 1) cosechar el árbol, 2) cortar el árbol, incluidas las hojas, ramas y tallo, en pedazos pequeños más manejables, 3) secar estos pedazos en un horno y 4) pesar estos pedazos una vez que estén totalmente secos y que toda el agua haya sido removida. Aunque muy preciso, este método también consume mucho tiempo, es caro y destructivo. Por lo que, no es un método práctico para obtener estimaciones de biomasa para bastantes árboles o extensiones completas de bosque. Las limitaciones asociadas con los métodos directos han llevado a que numerosos investigadores desarrollen relaciones matemáticas, comúnmente referidas como ecuaciones alométricas, las cuales relacionan la biomasa sobre el suelo de árboles individuales con otras características de los

árboles que son fácilmente medidas en el campo. Estas características incluyen el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total y densidad de la madera. Investigadores de todo el mundo han desarrollado cientos de ecuaciones alométricas para especies individuales de árboles y grupos de especies de árboles (Walker, *et al.*, 2011).

Estas ecuaciones son generadas por medio de una técnica estadística llamada análisis de regresión (Rügnitz *et al.*, 2009). Las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa arbórea sobre el suelo están en función del tipo de vegetación y especie medida (plantaciones forestales en monocultivo, barbechos y bosques naturales o incluso para árboles dispersos) y tipo de componente (Rügnitz, 2009).

2.5 Uso del Sistema de Información Geográfica en las perturbaciones

Un Sistema de Información Geográfico (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada. La mayor utilidad de un sistema de información geográfico está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis. La construcción de modelos de simulación como se llaman, se convierte en una valiosa herramienta para analizar fenómenos que tengan relación con tendencias y así poder lograr establecer los diferentes factores influyentes (Santiago, 2005).

En un SIG se organizan los datos según sus similitudes temáticas, dado que un archivo geográfico va acompañado de una tabla atributiva que almacena los correspondientes datos descriptivos. La abstracción gráfica en SIG para la representación de la data geográfica es: punto, línea y polígono (Behm, 2005).

2.5.1 Capas de usos de suelo y vegetación de INEGI

El conocimiento del estado que guarda la cobertura vegetal de la tierra ha cobrado importancia en los últimos años, La necesidad de responder a estos cuestionamientos ha traído por consecuencia es necesario reflejar de una manera clara la realidad natural, para lo cual se ha recurrido a la generación de mapas (Niño-Alcocer *et al.*, 2014)

Desde 1968 y hasta la fecha se han producido cinco series cartográficas sobre el uso del suelo y vegetación existente en México, en donde se han visto una evolución sustancial en el diseño conceptual, reducción en los tiempos de producción, la mejora en la precisión espacial y temática de la información, con la adopción de nuevas tecnologías informáticas junto con el avance en el desarrollo de hardware y software especializados en SIG (Victoria-Hernández *et al.*, S/F).

Si bien es cierto que se tiene un gran avance en materia de la identificación del uso del suelo la vegetación con estos trabajos, existen también algunas desventajas como que a menudo, las clases de la cubierta terrestre son inadecuadas para propósitos particulares, la escala se relaciona con un propósito específico y la información es, sobre todo, obsoleta. Además, los factores se utilizan a menudo en el sistema de clasificación lo que da lugar a una mezcla indeseable de la cubierta terrestre potencial y real. Una gran proporción de las clasificaciones existentes son de clasificaciones de la vegetación (Rzedowski, 1978; Miranda y Hernández-X, 1963; Flores *et al.*, 1971; CEC, 1997; FAO; 2004) o los sistemas se relacionaron con la descripción de una característica específica (como son las áreas agrícolas). Así, se limita su capacidad de definir la gama entera de las clases posibles de la cubierta terrestre. Por lo tanto, las clases derivadas son terminantemente dependientes de los medios usados (Victoria-Hernández *et al.*, S/F).

La cartografía del “Uso de suelo y vegetación” actual, a escala 1: 250,000 tiene hasta la fecha cinco versiones, las cuales han sido producidas en espacios de tiempo no definidos, teniendo así que la Serie I fue publicada en los años 80’s, la Serie II en 1993, la Serie III en el 2002, la Serie IV en el 2008 y la Serie V en el año 2014 (Niño-Alcocer *et al.*, 2014).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño de la investigación y enfoque metodológico

El presente trabajo se desarrolló en dos fases, bajo un enfoque mixto de investigación; la primera fase identificó las principales actividades agropecuarias y forestales que reducen la capacidad de almacenamiento de carbono en tres ecosistemas, a partir de un enfoque cualitativo, con la revisión bibliográfica, aplicación de entrevistas semiestructuradas a actores clave y observación directa en campo, y de esta forma determinar la magnitud del impacto que las actividades tienen sobre los ecosistemas. En la segunda fase se cuantificó el carbono almacenado en sitios perturbados y no perturbados en los tres ecosistemas estudiados, de manera cuantitativa, en donde, a partir de la recolección y análisis de datos, se probará la hipótesis planteada que ayudará a establecer patrones de comportamiento de los ecosistemas y perturbaciones, y sus interacciones.

3.2 Localización geográfica del sitio

El presente trabajo se realizó en seis sitios (tres perturbados y tres no perturbados) de tres ecosistemas del municipio de Villaflores, Chiapas, el cual se encuentra ubicado entre la Depresión Central y la Sierra Madre, entre las coordenadas 93° 03' 31.49" y 93° 46' 22.71" al Oeste y 16° 10' 00.28" y 16° 35' 05.57" al Norte (Figura 1). Cuenta con una extensión territorial de 1, 232.10 km², de los cuales más de 70, 000 ha son de uso forestal, esto es, bosques, selvas y vegetación secundaria. Su punto más alto se encuentra sobre el Cerro Tres Picos a 1823 msnm. El clima cálido-subhúmedo con abundantes lluvias en verano y un periodo de sequía intraestival (canícula) entre los meses de julio y agosto; la temperatura oscila entre los 14°C en los meses de diciembre y enero, y 38°C, o más, en los meses de abril y mayo. Los meses de lluvia van de mayo a octubre, de noviembre a enero son meses con humedad residual y el resto son meses de estiaje (CEIEG¹, 2012).

¹ Centro Estatal de Información, Estadística y Geografía

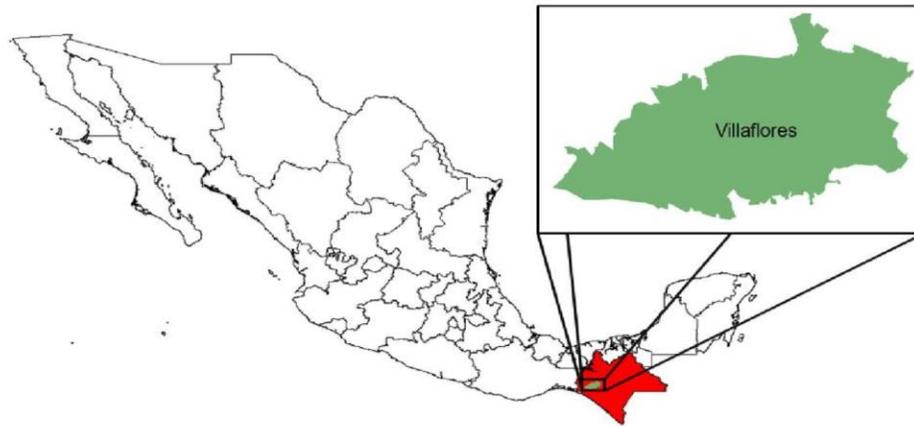


Figura 1. Macrolocalización del municipio de Villaflores, Chiapas.

3.3. Metodología

3.3.1. Selección de ecosistemas

De los nueve ecosistemas naturales presentes en el municipio de Villaflores (INEGI, 2013), se seleccionaron a tres de ellos, tomando en cuenta los siguientes criterios:

a) Tamaño del ecosistema (superficie en hectáreas, con base a la información de INEGI, 2013).

b) Presencia de áreas con ecosistemas perturbados y no perturbados por el hombre (de acuerdo a análisis SIG de a la capa de uso de suelo y vegetación de la serie V del INEGI, 2013).

c) Conocimientos previos de actividades humanas en ecosistemas cercanos a comunidades (de acuerdo a resultados de entrevistas aplicadas).

3.3.2. Actividades humanas en los ecosistemas

Identificación de actividades

En esta fase de la investigación, se identificaron las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, a partir de una revisión bibliográfica (FIRCO¹, 2007). Se realizó una valoración rural rápida (VRR) levantando información sobre la percepción de la población local utilizando entrevistas semiestructuradas y observación directa (Jackson e Inglés, 2004).

¹ Fideicomiso de Riesgo Compartido

Entrevistas personalizadas y observación directa

Las entrevistas semiestructuradas se realizaron en las comunidades cercanas a los ecosistemas estudiados, dichas comunidades se seleccionaron siguiendo los siguientes criterios:

- a) Cercanía de la comunidad al ecosistema
- b) Existencia de actividades de la comunidad en el ecosistema
- c) Identificación de uso de leña en la comunidad (INEGI, 2010)

Las entrevistas fueron de tipo informal y personalizadas, se realizaron a cinco actores clave, considerando a las personas con mayor tiempo en la comunidad (fundadores), con algún cargo de representación o con cierto grado de conocimientos de la historia de la comunidad. En este apartado, se depuró el primer listado de actividades obtenido de la revisión bibliográfica previa, a partir de la información que proporcionaron los informantes en las comunidades y de la observación directa que se realizó en el levantamiento de los sitios de muestreo. Un aspecto importante fue recabar, por medio de informantes clave, el punto de vista sobre los efectos que las actividades tienen sobre los ecosistemas estudiados.

La estructura de las entrevistas se dividió en cuatro apartados: a) información general tanto del entrevistado como de la comunidad; b) aspecto social con énfasis hacia el impacto de la leña a los ecosistemas; c) aspecto económico enfocado hacia las actividades productivas anteriores y actuales; y d) aspecto ambiental en donde se tratan de identificar los impactos directos e indirectos de las actividades humanas sobre los ecosistemas cercanos a cada comunidad (Anexo 1).

Análisis de la información

El análisis de la información obtenida en las entrevistas se realizó a través de la agrupación y semejanza de las respuestas. El análisis se efectúa cotejando los datos que se refieren a un mismo aspecto y tratando de evaluar la veracidad de cada información, esto se realiza mediante lo descrito por Sabino (1992) y Hernández Sampieri *et al.* (1997), además la información obtenida se comparó con los resultados de otros ejercicios (revisión bibliográfica previa y observación de campo) sobre el mismo tema (triangulación) (Geilfus, 2009).

3.3.3 Impacto de las actividades agropecuarias en los últimos cinco años

Para determinar el impacto que ha tenido la ganadería y agricultura en la superficie de los ecosistemas, se realizó un análisis a las capas de uso de suelo y vegetación de la Serie IV y Serie V del INEGI. Este análisis se llevó a cabo a través de un software de información geográfica (ArcGis 9.3), en donde se delimitaron los

diferentes usos del suelo y tipos de vegetación que se reflejan en dichas capas, y se cuantificó el avance de la “frontera agropecuaria” en los últimos cinco años, así como la reducción/aumento que han tenido los otros ecosistemas existentes en el municipio de Villaflores, Chiapas. Este análisis se complementó con la información proporcionada en el Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en diferentes años.

Impacto de la extracción de leña sobre los ecosistemas

El análisis del impacto de la extracción de leña se realizó de la siguiente forma:

1. A partir de la capa de vegetación y uso de suelo proporcionado por el INEGI, escala 1: 250,000, se clasificaron las unidades de paisaje: bosque mesófilo, bosque de pino y selva baja.
2. Cada unidad de paisaje creada se separó en capas vectoriales individuales.
3. Los asentamientos humanos fueron tomados a partir del Marco Geoestadístico Nacional 2013, versión 6.0, del INEGI, que considera localidades urbanas y rurales como datos puntuales con coordenadas geográficas.
4. Se consideró que las comunidades podrían tener como máximo un área de influencia (*buffer*) de extracción de leña de 1.5 km (de acuerdo a resultados de entrevista aplicadas), por lo tanto, se le aplicó un *buffer* de 1500 m a cada dato puntual.
5. Se sobrepuso el resultado de los *buffers* sobre cada una de las capas de unidades de paisaje generadas en el paso 1 y 2.
6. Por último, se extrajeron las áreas donde los *buffers* influenciaban sobre cada unidad de paisaje y se obtuvieron las áreas numéricas en unidades de hectáreas con ayuda del mismo software (Figura 2).

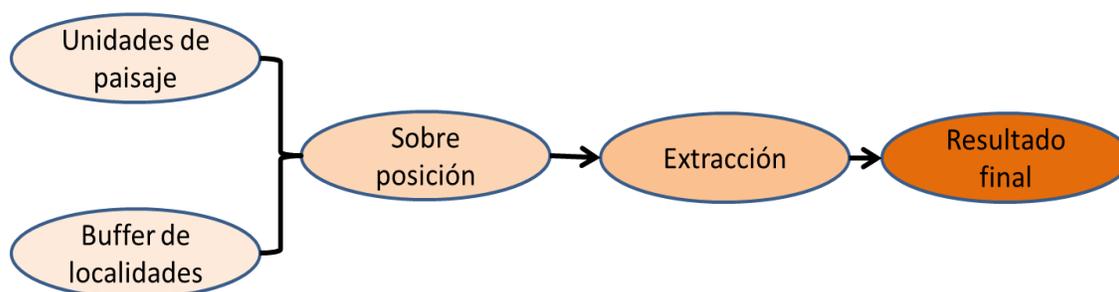


Figura 2. Pasos para determinar impacto de leña con ayuda del SIG.

Este *buffer* no implica que la totalidad del área impactada esté totalmente deforestada, sino que en ella se realiza la extracción selectiva de los árboles de mayor preferencia por las comunidades.

Perturbaciones de los incendios forestales en los ecosistemas

Para establecer el impacto de los incendios forestales en los ecosistemas seleccionados, se analizó la estadística oficial de incendios forestales (CENCIF¹, 2014), de los años 2007 al 2014 para obtener el número de incendios y la superficie afectada por cada ecosistema estudiado.

Impacto del café en los ecosistemas

A partir de la información proporcionada en el SIAP (2014) se analizó el avance o retroceso en la superficie sembrada con este cultivo para los años 2008 y 2014. Los sitios de café muestreados tienen un manejo tradicional con enfoque orgánico y su cultivo es bajo el dosel del bosque mesófilo.

3.3.4. Cuantificación de carbono almacenado

Para determinar la cantidad de carbono almacenado en los ecosistemas estudiados y, por consecuencia, conocer la magnitud de la pérdida de la capacidad de almacenar por cada una de las actividades identificadas, se realizó un inventario forestal y análisis de suelo. Para lograr esto se desarrollaron acciones que se describen a continuación.

Selección y muestreo de sitios

Se identificaron conglomerados con ocho sitios perturbados y ocho sitios no perturbados en cada uno de tres ecosistemas seleccionados previamente, para hacer un total de cuatro conglomerados y 48 sitios muestreados.

Carbono sobre el suelo

Los sitios para cuantificar la estructura, composición y carga de material orgánico muerto (MOM) y la capa orgánica del suelo se basó en el método de líneas de intersección o intersecciones planares (Van Wagner, 1982, Brown, 1974). El diseño del muestreo dasonómico es sistemático y estratificado por conglomerados.

La recolección de datos se realizó por medio de formatos elaborados a partir del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de la Comisión Nacional Forestal (Anexo 2), lo que permitió identificar las variables cuantitativas y cualitativas a medir. Las variables que se obtuvieron de cada árbol, son las siguientes: nombre común y científico, condición (vivo, muerto o tocón), tipo y espesor de mantillo, diámetro normal y altura total, uso actual del suelo, pendiente y presencia de agentes de

¹ Centro Nacional de Control de Incendios Forestales

perturbación (incendios, plagas y enfermedades, pastoreo, talas clandestinas, entre otros) (INFyS, 2010).

La metodología empleada por el INFyS recomienda la utilización de conglomerados integrados por cuatro subsitios de muestreo equidistantes del centro a cada 45.14 m. El tipo del conglomerado en todos los tipos de vegetación corresponde a una “Y invertida” (INFyS, 2010). En cada sitio del conglomerado, se mide y registra el arbolado cuyo diámetro normal (DAP) a la altura de 1.3 m, sea igual o mayor a 7.5 cm, en una superficie de 400 m², además de tomar muestras de la capa de hojarasca y de fermentación (INFyS, 2010).

Se utilizaron las ecuaciones básicas de Van Wagner (1982) para calcular la carga de cada clase de combustible, y de la carga en los combustibles de 1 h, 10 h y 100 h.

VARIABLES EVALUADAS

Altura del árbol

Se midieron árboles con un diámetro a la altura del pecho mayor a 7.5 cm, de donde se obtuvieron los parámetros que se requieren en la siguiente ecuación, para calcular la altura de los árboles (Romahn *et al*, 1994):

$$H = OC (\tan \alpha \pm \tan \beta)$$

Dónde:

H = altura del árbol en metros (distancia AB)

OC = distancia horizontal al árbol en metros.

α = ángulo del observador al ápice del árbol.

β = ángulo del observador a la base del árbol.

Diámetro a la altura del pecho

Consistió en medir con una cinta diamétrica el diámetro a la altura del pecho (DAP) del total de árboles existentes en las parcelas a una altura de 1.30 m, desde el nivel del suelo.

Carbono almacenado en árboles

A partir de la información de la capa de uso de suelo y vegetación de la Serie V del INEGI (2014), se realizó una interpolación con imágenes LANSAD 8 (compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, que al combinarse producen una gama de imágenes de color), para disgregar las superficies de los ecosistemas, de acuerdo a la tres diferentes grados de coloración de la vegetación (áreas saludables del ecosistema, arbustos y prados en el ecosistema y sin vegetación aparente).

Con los datos de la altura de los árboles, DAP y número de individuos obtenidos en cada conglomerado muestreado, se extrapolaron los datos a una hectárea y después a la cobertura total del ecosistema. Se identificaron a la(s) especie(s) representativa por ecosistema de acuerdo al inventario forestal previo (Anexo 3), en el Cuadro 3 se muestra la cantidad y especies con nombres comunes y científicos por ecosistema.

Cuadro 3. Concentrado de especies encontradas en los ecosistemas muestreados en Villaflores, Chiapas.

Ecosistema	Cantidad de especies	Especies representativas
Bosque mesófilo	31	<i>Quercus peduncularis</i> , <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Couepia polyandra</i>
Bosque de pino	1	<i>Pinus oocarpa</i>
Selva baja	30	<i>Bursera excelsa</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Bursera instabilis</i>

Fuente: BIOMASA, 2014

Con la información de las especies identificadas por ecosistema, se seleccionaron las ecuaciones recopiladas por De Jong *et al.*, (2015), de diferentes investigaciones realizadas en el estado o estados con características ambientales y de vegetación similares, por ecosistema que correspondían a las especies antes mencionadas, dichas ecuaciones seleccionadas se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Fórmulas seleccionadas para cada ecosistema estudiado.

Ecosistema	Fórmula	Autor y año
Bosque mesófilo	$[Exp[-2.193]*[DBH^{2.412}]]$	Acosta <i>et al.</i> , 2002
Bosque de pino	$[0.058]*[[[DBH^2]*TH]^{0.919}]$	Ayala, 1998
Selva baja	$[0.5825]*[DBH^{1.6178}]$	Návar, 2009

DBH= Diámetro a la Altura del Pecho (1.30 m)

TH= Altura total.

Carbono almacenado en Material Orgánico Muerto (MOM)

El procedimiento que se siguió para la obtención del MOM consistió en la medición de la profundidad y recolección de muestras de hojarasca y fermento en un cuadro de 30x30 cm a una distancia de 2 y 4 m de cada transecto trazado con respecto al centro del sitio evaluado. Posteriormente, secaron al sol hasta un peso constante para obtener el peso seco. Después de esto se obtuvo la densidad aparente, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\rho = \left(\frac{P}{a * h} \right) \times 10$$

Donde:

ρ = Densidad aparente ($\text{Mg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)

P = peso seco (g)

a = área del cuadro (cm^2)

h = Promedio de las profundidades de hojarasca (cm)

10= Constante para convertir la densidad de hojarasca g/cm^3 en ton/ha/mm

La densidad aparente se multiplicó por la profundidad y se obtuvo la carga de capa orgánica (t ha^{-1}). Estos resultados se multiplicaron por el valor de 0.45, considerando que ésta es la fracción de carbono presente en la vegetación (kg C /kg MS) (IPCC, 2006).

Carbono almacenado en suelos

Para la obtención de las muestras de suelo, se siguieron las especificaciones marcadas en la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreos y análisis. En cada sitio de estudio, se obtuvieron muestras de suelo a dos profundidades distintas: de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm con la ayuda de una Barrena Hoffer. El muestreo se realizó en zigzag sobre el sitio del ecosistema en estudio, para obtener muestras compuestas de suelo. Posteriormente se envió a laboratorio para sus análisis correspondientes, en donde se obtuvieron los datos de densidad aparente y carbono orgánico, a través de los métodos de la probeta y Walkley y Black (1934), respectivamente.

El contenido de carbono en el suelo se calculó a partir de los valores de carbono orgánico, densidad aparente y profundidad de muestreo, a partir de la fórmula siguiente (MacDiken, 1997):

$$CS = CC * DA * P$$

En donde:

CS = Carbono en suelo ($\text{t ha}^{-1} \text{C}$)

CC = Contenido de carbono (%)

DA = Densidad aparente (g/cm^3)

P = Profundidad de muestreo (a 10 y 20 cm respectivamente)

Carbono total por ecosistema

Una vez que se tienen los datos de los tres estratos analizados (árboles, material leñoso caído y suelo), se conformó una base de datos en una hoja electrónica (Excel, 2010) en donde se sumaron por ecosistema y perturbación, para su análisis correspondiente.

Análisis de datos

Los análisis de datos para la comparación entre ecosistemas, perturbaciones y sus efectos combinados, se realizaron con un programa para análisis estadístico (SAS, 2000), para lo cual se utilizó un diseño completamente al azar con dos factores y comparación múltiple de medias con un 95% de confiabilidad (Tukey, $P \leq 0.05$).

El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta en la repetición k , nivel j de perturbación, nivel i de ecosistema.

μ = Media general.

A_i = Efecto del factor ecosistema en el nivel i .

B_j = Efecto del factor perturbación en el nivel j .

$(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción ecosistema/perturbación al nivel i, j .

E_{ijk} = Error aleatorio

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Selección de ecosistemas

A partir de los criterios establecidos y del análisis en el SIG, se seleccionaron los ecosistemas y las comunidades en donde se desarrolló la investigación. Las comunidades seleccionadas de acuerdo a los ecosistemas son, para Bosque mesófilo: Nueva Independencia, Tierra y Libertad y Villahermosa, para Bosque de pino: California, Champerico, Niquidámbar y Tres Picos, y para Selva baja: Agrónomos Mexicanos, Guadalupe Victoria y Roblada Grande, todas en el Municipio de Villaflores, Chiapas (Figura 3).

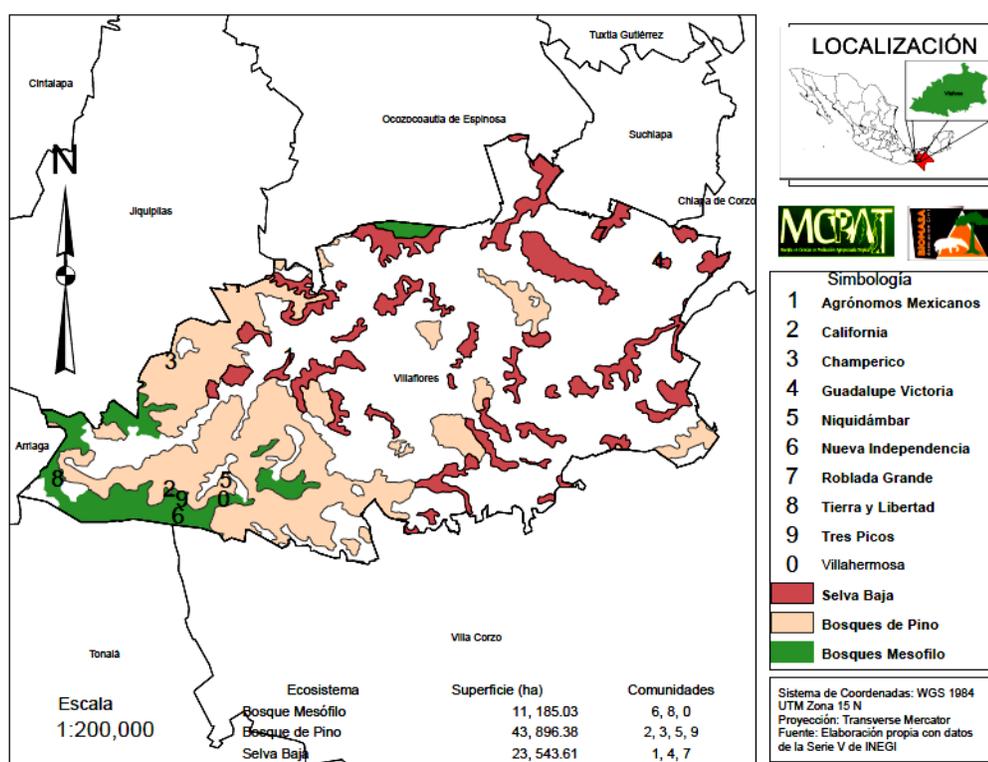


Figura 3. Ecosistemas y comunidades seleccionadas.

Como se aprecia en la Figura 3, la superficie calculada para Bosque mesófilo es de 11,185 ha; para Bosque de pino 43,896 ha y para Selva baja 23,543 ha. La suma de la superficie de estos tres ecosistemas representa cerca del 40% de la superficie total del municipio. En las comunidades seleccionadas, se tiene una población total de 8, 281 habitantes (INEGI, 2010), lo cual corresponde al 8.9% del total de la población del municipio.

Entre las comunidades en estudio más pobladas, se encuentran Guadalupe Victoria, Roblada Grande y Agrónomos Mexicanos con 3124, 1656 y 1212 habitantes, respectivamente, todas en la parte baja del municipio; mientras que las menos pobladas son California, Niquidámbur, Nueva Independencia y Champerico, con 286, 241, 127 y 76 habitantes, respectivamente, todas en la zona sierra y dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera “La Sepultura” (REBISE). Así mismo, el bosque mesófilo es el que menor superficie de los tres ecosistemas y se encuentra exclusivamente en la parte alta de la zona sierra, en la zona núcleo de la REBISE, mientras que el bosque de pino y la selva baja tienen una mayor superficie y distribución por todo el municipio.

4.2 Perturbaciones humanas

Se encontró que en la zona sierra o alta del municipio se obtienen, principalmente, productos agroforestales (café, palma camedor y resina) dentro del ecosistema de bosque mesófilo, y se produce maíz y frijol para el autoconsumo, por el contrario, en la zona baja, la actividad ganadera tiene mayor tiempo de desarrollo, además de una tendencia en la agricultura hacia el monocultivo (maíz o frijol). La ganadería se realiza en la mayoría de las comunidades, independientemente de su ubicación y es considerada como una actividad económica preponderante.

Tanto la extracción de leña como los incendios forestales son perturbaciones a las cuales los pobladores ven como fenómenos comunes sobre todo para los que habitan las comunidades que tienen cercanía a los bosques de pino.

El Cuadro 5 resume la información sobre los ecosistemas y sus perturbaciones, así como las fechas de fundación y sus actividades productivas de mayor importancia en los últimos 20 años en cada comunidad.

Cuadro 5. Principales perturbaciones identificadas en las comunidades en estudio.

Ecosistema	Comunidad	Perturbación actual	Perturbación anterior (20 años)	Año de fundación
Bosque mesófilo	Villahermosa	Café, leña, palma camedor, maíz y ganadería	Café, leña y maíz	1970
	Nueva Independencia	Café, leña y maíz	Café y leña	1991
	Tierra y Libertad	Café, maíz, leña y ganadería	Café, leña y maíz	1967
Bosque de pino	Champerico*	Leña, incendios forestales, maíz y frijol	Leña, incendios forestales, maíz y frijol	1995
	Niquidámbar	Maíz, frijol, café, leña, incendios forestales y ganadería	Leña, maíz y frijol	1971
	Tres Picos	Maíz, leña, resina, frijol y ganadería	Maíz, leña, frijol, incendios forestales y ganadería	1972
	California	Maíz, leña, resina, frijol y ganadería	Maíz, leña, frijol, incendios forestales y ganadería	1986
Selva baja	Agrónomos Mexicanos	Maíz, frijol, leña y ganadería	Maíz, frijol, leña y ganadería	1945
	Guadalupe Victoria	Maíz, frijol, leña y ganadería	Maíz, frijol, leña y ganadería	1938
	Roblada Grande	Maíz, frijol, leña y ganadería	Maíz, frijol, leña y ganadería	1966

Fuente: Elaboración propia con datos de entrevistas aplicadas (2015).

* En Champerico, aunque los productores no tienen ganado, los terrenos son rentados para ganadería para el uso del rastrojo de sus cultivos.

Los resultados que se presentan en el Cuadro 5, refleja que las principales perturbaciones actuales están relacionadas con las actividades agropecuarias (maíz, frijol y ganadería), extracción de leña, afectaciones por incendios forestales y actividades agroforestales (café, palma y resina). En todas las comunidades se han mantenido las actividades que se realizaban hace 20 años, y se han complementado

con algunas otras, principalmente para aprovechar algunas oportunidades de apoyos existentes.

La ganadería aparece en los últimos años en las comunidades de reciente fundación y que se ubican desde la parte media y alta (Villahermosa, Niquidámbar, Tres Picos, California y, Tierra y Libertad) de la Sierra del municipio de Villaflores, esto, a pesar de encontrarse dentro de un Área Natural Protegida. Esto coincide con lo descrito por Escobar (1997) y Castillo y Toledo (2000), quienes enfatizan la presión que ejerce la ganadería en algunas comunidades dentro de Áreas Naturales Protegidas, a pesar de su estatus de protección federal. En contraste, en las comunidades más longevas y ubicadas en la parte baja del municipio (Agrónomos Mexicanos, Guadalupe Victoria y Roblada Grande) la ganadería forma parte importante de las actividades productivas que se desarrollan en ellas. Esto coincide con lo mencionado por Guevara-Hernández (2007) que sostiene que los problemas asociados a la ganadería se debe a aspectos culturales y sociales (estatus social), que repercuten aún más directamente sobre el uso y manejo de los recursos naturales. Además, Alemán *et al.*, (2007) mencionan que la ganadería se ha vuelto parte esencial de las estrategias económicas y productivas de las comunidades, y con alto grado de marginalidad ambiental.

El avance de la ganadería en las comunidades de fundación más reciente puede estar asociado al hecho que las personas fundadoras de dichas comunidades han trasladado la cría de ganado por medio de la renta de pastizales en la parte alta, además del fomento del ganado a través de los programas gubernamentales (federales y estatales), vía créditos y sociedades, que se ofrecieron en la década de los 80's (Villafuerte, 1997). De tal forma que la cría extensiva de la ganadería en los ejidos, aumentan los riesgos de degradación de los ecosistemas forestales, tal y como lo reportan Kaimowitz (1996), Alemán *et al.*, (2007) y Guevara-Hernández (2007), quienes encontraron que la deforestación se acentuó en los años ochenta, cuando se fomentó la eliminación total de áreas boscosas para establecer sistemas ganaderos en zonas tropicales, además de las fuertes tensiones sociales relacionadas con la tenencia de la tierra, ocasionando una mayor presencia de incendios forestales, fragmentación de la tierra y apertura de nuevas áreas de cultivo.

En el Cuadro 6 se reportan las superficies dedicadas a la agricultura, ganadería y forestal de acuerdo a la percepción de los informantes clave para cada comunidad. Este cuadro confirma que en las comunidades de la parte baja del municipio predomina un uso agrícola y ganadero, mientras que en las comunidades de la parte alta el uso del suelo es predominantemente forestal. Además, en algunas comunidades (Tierra y Libertad, Tres Picos y California) se encontró que se dedica una mayor superficie a la ganadería en comparación con las actividades agrícolas.

Por otro lado, se identifica que, en el ejido Champerico, a pesar de no contar con ganado, se dedica una superficie a la actividad (41 ha), ya que al concluir la cosecha de sus cultivos (maíz y frijol), sus terrenos son rentados a ganaderos cercanos para el aprovechamiento del rastrojo. Dicha superficie se encuentra cubierta de pastos y con algunos corrales de manejo.

Cuadro 6. Superficies dedicadas a las actividades agropecuarias y forestales en las comunidades en estudio.

Comunidad	Superficie agrícola		Superficie ganadera		Superficie forestal		Total (ha)
	Ha	%	ha	%	ha	%	
Villahermosa	310	14.35	150	6.95	1700	78.70	2160
Nueva Independencia	93	37.65	0	0	154	62.35	247
Tierra y Libertad	90	2.69	257	7.68	3000	89.63	3347
Champerico	62	28.05	41	18.55*	118	53.40	221
Niquidámbar	720	30.38	250	10.55	1400	59.07	2370
Tres Picos	390	21.86	400	22.42	994	55.72	1784
California	75	6.68	93	8.29	954	85.03	1122
Agrónomos Mexicanos	1100	64.70	500	29.41	100	5.88	1700
Guadalupe Victoria	4100	58.92	2500	35.92	359	5.16	6959
Roblada Grande	2200	48.30	1500	32.93	855	18.77	4555

Fuente: Elaboración propia con datos de entrevistas aplicadas (2015).

* El ejido Champerico renta sus terrenos para el rastrojo, a ganaderos cercanos.

Por otro lado, las superficies por cada comunidad indicadas en el Cuadro 6, coinciden con lo reportado por el FIRCO (2005) y CMDRS (2006), quienes encontraron que, para las comunidades de la parte baja existe una mayor superficie dedicada a la ganadería y agricultura, mientras que, en las comunidades de la parte alta del municipio, existen todavía grandes extensiones cubiertas con vegetación forestal y en buen estado de conservación. Esto coincide con las comunidades que se encuentran dentro de la Reserva de la Biósfera “La Sepultura” quienes se encuentran bajo cierto tipo de restricciones al momento de establecer una actividad productiva, además que las condiciones topográficas y climáticas limitan también dichas actividades.

A continuación, se describen las cinco actividades humanas que tienen mayor presencia en las comunidades en estudio.

4.2.1 Frontera agropecuaria

4.2.1.1 Ganadería

En la mayoría de los ejidos del municipio de Villaflores, Chiapas, se practica la ganadería bovina extensiva, las razas que mayor diseminación y preferencia tienen por los productores, por sus características de adaptabilidad y rusticidad, son el Cebú y el Suizo Americano, y sus respectivas cruizas; en estos hatos no se presenta un manejo adecuado, son explotadas principalmente en sistemas de doble propósito; la comercialización se realiza en el mercado local. El tamaño promedio del hato, para la ganadería ejidal, es de 8 cabezas. Esta actividad es vista como una forma de ahorro entre los productores. La mayor parte de los potreros está cubierta por pastos introducidos como el zacate jaragua (*Hyparrhenia ruffa*) y zacate gordura (*Melinis minutiflora*); en las áreas cubiertas con pastos inducidos predomina el zacate estrella (*Cynodon nlenfuensis*) y, en márgenes de ríos y arroyos, se observa el zacate gigante (*Penisetum purpureum*), que fue establecido como barreras vivas para la conservación de suelo y que, actualmente, se aprovecha como forraje. En términos generales, la ganadería, aún sin el manejo, es mucho más rentable que la agricultura (maíz), ya que se obtienen ingresos por la venta de la leche, crías y vacas de desecho (FIRCO, 2006).

4.2.1.2 Agricultura

El sistema de producción agrícola se basa, principalmente, en los cultivos de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). Para la preparación de los terrenos se utiliza el fuego para la quema de los residuos de las cosechas anteriores. El cultivo de maíz se establece en parcelas cuyo tamaño promedio es de 2 ha, la mayoría del cultivo es de temporal y sembrado por espeque en terrenos con pendientes pronunciadas, con usos altos de agroquímicos y semillas mejoradas, se obtiene una producción promedio de 4 t ha⁻¹ de maíz. El producto es destinado al autoconsumo y los excedentes son vendidos en grano de manera local. En muchas ocasiones, los costos de producción rebasan a los ingresos por venta (FIRCO, 2006).

La producción de frijol se realiza en dos etapas, frijol de norte y frijol aventurero, las cuales se dan al inicio de la temporada de lluvias y a finales de la misma, la producción promedio es de 600 kg ha⁻¹, el tamaño representativo de las parcelas sembradas es de una hectárea. En este cultivo también hay uso de agroquímicos, desde su producción hasta su conservación. Al igual que el maíz, una buena parte del producto es dedicado al autoconsumo y los excedentes son comercializados con acopiadores locales, principalmente (*Op. cit.*).

Con respecto al avance de la “frontera agropecuaria” en los últimos cinco años, en el Cuadro 7 se muestran cómo han variado las superficies en los distintos usos de

suelo y vegetación existente en Villaflores, Chiapas en los últimos cinco años, de acuerdo a las Serie IV y V del INEGI. En este comparativo se observa que la selva baja se redujo en un 50% en este periodo, pero hay ecosistemas y/o usos del suelo en los cuales se tiene un aumento en su superficie como el bosque de pino, bosque mesófilo y actividades agropecuarias, éstas últimas aumentaron en un 12% (presumiblemente son las áreas de selva baja perdidas).

Cuadro 7. Comparativo de superficies entre la Serie IV y V de INEGI para Villaflores, Chiapas.

Ecosistema o uso del suelo	Serie IV (2008)		Serie V (2014)	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Asentamientos humanos	1384.00	0.73	1384.61	0.73
Agropecuario	76111.23	40.06	98991.89	52.10
Selva Mediana	5912.69	3.11	4140.15	2.18
Selva baja	47131.18	24.81	23543.61	12.39
Bosque de Encino	8389.99	4.42	9038.57	4.76
Bosque de pino	38138.11	20.07	39184.07	20.62
Sabana	4047.44	2.13	2528.31	1.33
Bosque mesófilo	8881.60	4.67	11185.03	5.89
Total	189996.24	100	189996.24	100

Al hacer el comparativo de las superficies reportadas en las Series IV y V del INEGI mostradas en el Cuadro anterior, se encontró que existe un aumento del 12% (de 40% a 52%) de la superficie dedicada a la agricultura y ganadería, en los últimos 5 años, lo cual coincide con lo descrito por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2014) en donde se refleja un aumento de casi 12, 000 ha con respecto al año 2008 (de 55, 715 ha a 67, 423.50 ha). Por el contrario, los ecosistemas de selva mediana, selva baja, bosque de encino y sabana redujeron su superficie en 1%, 12.4%, 0.3% y 0.8% respectivamente, coincidiendo con lo reportado por De Jong *et al.* (2010), quienes mencionaron que los tipos de vegetación que más han sufrido deforestación en el estado de Chiapas son las selvas, seguidas de los bosques de coníferas y mesófilo.

De acuerdo a los resultados el ecosistema que redujo más su superficie es la selva baja con el 50% de la superficie reportada en el 2008, lo que puede explicarse en parte por los aclareos para establecer pastos exóticos, la deforestación para establecer plantaciones, la extracción de productos maderables y no maderables, y la ausencia de aplicación de los reglamentos relativos al uso de estos recursos o a la extracción de especies consideradas en peligro de extinción (Búrquez y Martínez-Yrizar, 1997; Búrquez *et al.*, 1998, 2002; Maass, 1995; Martínez-Yrizar *et al.*, 2000; Trejo y Dirzo, 2000; Villers y Trejo, 1997). Todas estas acciones tienen efectos que

modifican la composición y estructura de la selva y alteran negativamente el funcionamiento del ecosistema, generando severos problemas de erosión de suelos y de disminución de especies y productividad que, en última instancia, llevan a un nuevo equilibrio con menor complejidad estructural y dinámica más simple (Ceballos *et al.*, 2010)

Chiappy (2001) mencionó que el grado potencial de amenaza de los geosistemas naturales, que es definido como la presión que ejercen las diferentes actividades antropogénicas limítrofes con aquellos geocomplejos que aún se encuentran en estado natural o muy cercano al natural, y cuya expansión pueden ampliar el ámbito de fragmentación de los mismos o simplemente causar su paulatina degradación hasta llegar a su extinción total. Complementando esta información, otro proceso importante que se ha detectado es la intensificación de los ciclos de roza-tumba-quema por la presión sobre la tierra, ya que actualmente se dan ciclos más cortos de descanso del terreno por falta de tierras, no permitiendo que se recupere la fertilidad del suelo, la cual necesita periodos de recuperación muy largos (Paz *et al.*, 2012).

4.2.2 Producción de café

El cultivo de café (*Coffea arabica* L.) se desarrolla, principalmente, en la parte alta de la Sierra del municipio, es un cultivo de importancia económica en, por lo menos, 8 ejidos. Su producción promedio, hasta el año 2012, era de 5.2 Q ha⁻¹, pero como consecuencia a enfermedades, como la roya (*Hemileia vastatrix*), ésta se ha visto reducida entre el 60 al 80%. Es importante mencionar que la mayoría de las localidades están inmersas en procesos de producción de café orgánico, a través del apoyo y asesoría de la REBISE y Conservación Internacional (CI). Éste cultivo se realiza bajo el dosel del bosque mesófilo, en donde existen las condiciones de humedad y sombra necesarias para que le brinden las cualidades necesarias al grano aromático. Una buena parte del producto es comercializado hacia el extranjero y en el mercado local, existen pequeñas empresas locales que transforman en producto (tostado y molido).

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), para el cultivo de café en Villaflores, en el año 2008, se tenían establecidas un total de 771.75 ha, las cuales aumentaron a 823.75 ha en el año 2014, lo cual demuestra un aumento de 52 ha. Dicha superficie es localizada dentro del bosque mesófilo, principalmente, en los ejidos de Nueva Independencia, Tres Picos, Villahermosa, Niquidámbar y, Tierra y Libertad, todos ellos en la parte alta de la sierra del municipio.

Como se menciona en el párrafo anterior, el cultivo de café es una de las opciones productivas que mayor aumento, en superficie, tiene, ya que proporciona ingresos económicos en áreas con condiciones muy características y poco favorables para el

establecimiento de cultivos tradicionales (maíz y frijol), además que favorece la conservación del bosque mesófilo, junto con el aprovechamiento de la palma camedor, esto coincide con lo expuesto por Perfecto *et al.*, (1996) y, Rice y Greenberg, (2000) quienes mencionan que los sistemas agroforestales con café y/o cacao imitan estrechamente los ecosistemas naturales, ya que proveen una variedad de nichos y recursos que apoyan una alta diversidad de plantas y animales.

Esto es confirmado por Moguel y Toledo (1999) quienes mencionan que los cafetales en México por lo general se establecen como un cultivo de sombra diversificada, en donde el sotobosque es sustituido por los cafetos, respetando la vegetación arbórea nativa.

El aumento de la superficie dedicada al cultivo del café en Villaflores es opuesto a lo mencionado por Anta (2006) quien afirma que, la tendencia nacional, de la superficie dedicada al cultivo del café ha disminuido en los últimos años a causa de los precios bajos del grano, lo cual ocasionó el abandono de tierras y la migración de los productores. Esto podría deberse a que el café en el estado de Chiapas es producido de forma orgánica, lo cual, al momento de la comercialización, le proporciona un sobreprecio con lo que alienta a los productores a mantener y/o aumentar su cultivo.

4.2.3 Extracción de leña

Para dimensionar el impacto por la extracción de leña, se estimó el consumo de ésta en las comunidades, a partir de los datos reportados en las entrevistas aplicadas. Los resultados se muestran en el Cuadro 8, en donde se observa que las comunidades de mayor tamaño tienen un alto consumo de leña, aunque no sea su única fuente de combustible (gas LP), así mismo, en comunidades, como Nueva Independencia, Champerico, Tres Picos, Villahermosa, Tierra y Libertad, Niquidámbur y California, la leña es el combustible que se utiliza en mayor proporción para la cocción de sus alimentos.

En las comunidades de Agrónomos Mexicanos, Guadalupe Victoria y Roblada Grande, la leña es complementaria, en un 30% aproximadamente, al gas LP, esto podría deberse a la falta de una ruta de venta de gas LP en las comunidades de la Sierra, además de la dificultad de traslado de los cilindros, sobre todo en la época de lluvias. Cabe mencionar que el consumo de leña para todas las comunidades se estimó con base en la información proporcionada por informantes clave sobre el consumo diario en el total de familias.

Cuadro 8. Consumo estimado de leña por familia y por comunidad.

Comunidad	Consumo promedio kg familia ⁻¹ día ⁻¹	Total de familias*	% de familias totales que consumen leña**	Consumo total t año ⁻¹ comunidad ⁻¹
Villahermosa	22.62	89	85	624.59
Nueva Independencia	27.47	21	90	189.50
Tierra y Libertad	21.82	125	85	846.21
Champerico	30.3	16	90	159.26
Niquidámbur	25.45	52	85	410.58
California	22.62	63	85	442.12
Tres Picos	26.26	83	90	715.99
Agrónomos Mexicanos	18.33	319	35	746.99
Guadalupe Victoria	13.53	749	25	924.72
Roblada Grande	18.51	356	35	841.82

*De acuerdo a INEGI, 2010.

**Consumo promedio estimado de acuerdo a entrevistas aplicadas.

Fuente: Elaboración propia con datos de entrevistas aplicada (2015).

En la Figura 4, se observa el área impactada por la extracción de leña en los ecosistemas, en donde se observa que en los bosques mesófilos el 32% de la superficie total se encuentra impactado, en bosque de pino el 86% y en las selvas bajas el 88% presenta un impacto negativo.

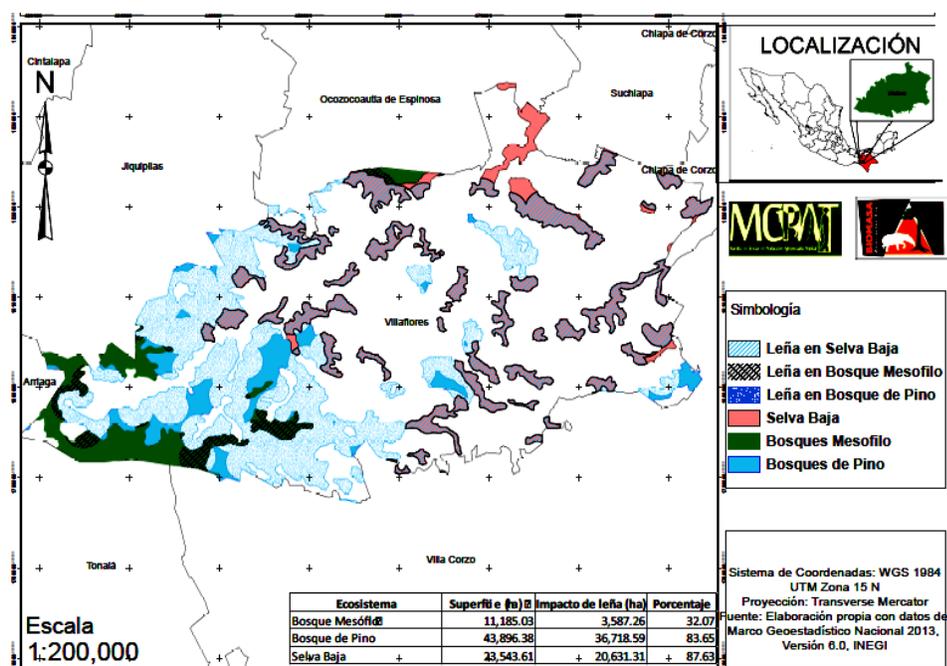


Figura 4. Área impactada por la extracción de leña en tres ecosistemas de Villaflora, Chiapas.

El consumo de leña, como puede apreciarse en el Cuadro 8 y Figura 4, resalta el hecho de que en las comunidades de la zona baja del municipio (Agrónomos Mexicanos, Roblada Grande y Guadalupe Victoria) a pesar de que hay un consumo de leña bajo, por la cantidad de viviendas en cada comunidad, el consumo es mucho más alto que en las otras comunidades en estudio, donde la leña representa el combustible de mayor uso (excepto Tierra y Libertad, y Tres Picos que presentan consumos similares).

El impacto de consumo de dichas comunidades se ve reflejado sobre el ecosistema (selva baja y bosque de pino) que se tiene más cerca (87.63% y 83.65%, con diferentes grados de perturbación), mientras que las comunidades de la parte alta (Villahermosa, Tierra y Libertad, y Nueva Independencia) el impacto por el consumo de leña es menor (32.07%) sobre el bosque mesófilo.

En este sentido, la preferencia por cierto tipo de maderas y la distancia de recolección, es lo que hace que se tengan mayor o menor impacto en un ecosistema, López *et al.*, (2003) reportaron que, para la zona Norte del estado de Chiapas, el bosque secundario en su fase de regeneración conocido como “barbecho” o “acahual” constituye un recurso importante que provee de forraje, leña y otros productos de uso múltiple a las familias campesinas, sobresaliendo el caulote (*Guazuma ulmifolia* Lam.) y el género *Acacia*; similares datos lo confirman Pinto *et al.* (2004) en un estudio realizado con especies leñosas forrajeras en el centro de Chiapas, en donde reportan preferencia hacia leña proveniente del guaje blanco (*Albizzia caribea*), pie de venado (*Bauhinia unguolata* L.), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), huizache (*Acacia farnesiana* L.), quebracho (*Acacia millenaria* St.) y caulote (*Guazuma ulmifolia* Lam.).

Así mismo, FIRCO (2006), presentó datos en donde familias de seis integrantes de las comunidades de Villaflores, consumen hasta 22 leños diarios, ya que se utiliza el fogón abierto. Mucha de la leña es recolectada por los hombres quienes dedican un día en especial a la corta y acarreo de la misma. Las especies que más se usan son el Roble (*Quercus rugosa*), el Ocote (*Pinus oocarpa*) y el Caulote (*Guazuma ulmifolia*). Los leños tienen un peso promedio de 2.02 kg y medidas de 60x15x15 cm aproximadamente. Dichas especies fueron encontradas en los muestreos realizados (Anexo 3).

Masera *et al.*, (2003) reportan que municipios con altos consumos de leña se concentran en la región montañosa del centro y sureste de México, en lugares donde existen condiciones culturales, ambientales y sociales muy similares. Dichos municipios como de “alta prioridad” desde el punto de vista del número de usuarios, la tasa de crecimiento de los usuarios, los impactos ambientales negativos potenciales y la elasticidad del consumo. En este sentido, el impulso de ecotécnicas

que apoyen a reducir el consumo de leña y generar la leña a consumir son prioridades para atender esta perturbación.

4.2.4 Incendios forestales

En el Cuadro 9 se muestra la superficie que tienen los incendios forestales sobre los ecosistemas en estudio durante el periodo de los años 2007 al 2014; en dicho periodo existe una mayor afectación sobre el Bosque de pino con 1,123.5 ha y, en menor, en la Selva baja con 171 ha, además que en el Bosque mesófilo no se tienen registros de presencia de incendios forestales en el periodo estudiado.

Cuadro 9. Superficie afectada por incendios forestales en tres ecosistemas de Villaflores, durante el periodo 2007 al 2014.

Año	Superficie afectada		
	Bosque mesófilo (ha)	Bosque de pino (ha)	Selva baja (ha)
2007	0	66	110
2008	0	6	0
2009	0	76.5	0
2010	0	27	10
2011	0	100	0
2012	0	152.5	0
2013	0	545.5	11
2014	0	150	0
Total	0	1123.5	171

La presencia de los incendios forestales se ubica sobre la parte media y alta del municipio y, siendo, predominantemente, el bosque de pino el más afectado con 1123.5 ha, en donde la degradación del ecosistema no es por los efectos del fuego sobre la vegetación (sensibilidad al fuego), sino por la presencia recurrente sobre los mismos sitios en años consecutivos (Figura 5).

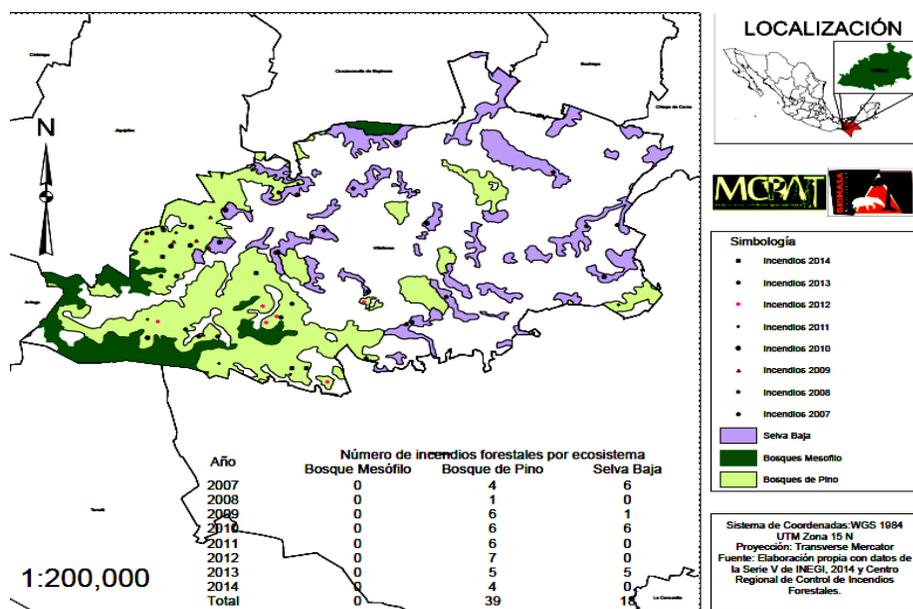


Figura 5. Ubicación y número de incendios forestales en los ecosistemas seleccionados en el periodo 2007-2014.

No obstante que el fuego en los bosques de pino no es necesariamente una perturbación negativa, ya que dicho ecosistema requiere de altas temperaturas en una etapa de su vida para poder regenerarse, tal y como lo menciona Jardel-Peláez (2009), quien encontró que los “conos” de los pinos necesitan del fuego para poder “abrirse” y “soltar” las semillas, además que el fuego reduce las cargas de combustibles forestales (hojas, ramas y pastos) para que las semillas puedan germinar en el suelo fértil.

Los efectos del fuego en todos los ecosistemas es un tema que requiere mayor profundidad de estudio, ya que existe poca información al respecto, sobre todo en los efectos del fuego a mediano y largo plazo. Los incendios forestales son una de las perturbaciones más comunes en los ecosistemas de Villaflores, Chiapas, los cuales son promovidos por las actividades agrícolas principalmente (BIOMASA¹, 2010). Por lo general, son incendios superficiales con alturas de llamas no mayores a 1 m, velocidades de propagación de 3 a 5 m/min y con superficies afectadas de 5 ha por incendio, en promedio. Otra de las causas comunes son la quema de potreros para renuevo de pastos y/o control de plagas (CEMIF, 2014).

La perturbación causada por los incendios forestales no es representativa en todos los ecosistemas, si bien afectan en mayor cantidad a los bosques de pino, esto podría deberse a la cercanía de carreteras y caminos a este ecosistema y a que, en muchas ocasiones, se busca el cambio de uso de suelo por ser terrenos “sin

¹ Biodiversidad, Medio Ambiente, Suelo y Agua, AC

beneficio” aparente. La zona donde mayor presencia de incendios forestales se presenta (Figura 5) ha sido histórica en el municipio, tal y como lo reportó BIOMASA (2014) en el análisis de áreas prioritarias para protección de incendios forestales en Villaflores, en donde reportó que la zona media del municipio (cubierta por Bosque de pino y Selva baja) es la que mayor riesgo y peligro presenta para la afectación de este fenómeno.

4.2.5 Superficie impactada por las principales perturbaciones en los ecosistemas

En el Cuadro 10 se presenta la superficie afectada por cada una de las actividades, durante el periodo del 2007 al 2014. En dicho Cuadro resaltan que las perturbaciones por extracción de leña y actividades agropecuarias son las que tienen presencia en los tres ecosistemas estudiados, seguidos de los incendios forestales (dos ecosistemas) y cultivo de café (un ecosistema).

Dentro de dichas perturbaciones, la extracción de leña en los bosques de pino impacta en un 83.65% del total de la superficie del ecosistema, en la selva baja en un 87.63% y en el bosque mesófilo en un 32.07%; mientras que las actividades agropecuarias afectaron en un 50% la superficie total de las selvas bajas y el 20.60% de la superficie del bosque mesófilo en este periodo. Se identifica que el cultivo del café es la única perturbación que está impactando al bosque mesófilo, con un 7.68% del total de su superficie.

Cuadro 10. Superficie afectada por las perturbaciones en cada ecosistema.

Perturbación	Superficie y porcentaje del ecosistema ha (%)		
	Bosque mesófilo	Bosque de pino	Selva baja
Café*	823.75 (07.36)	-	-
Leña**	3,587.26 (32.07)	36,718.59 (83.65)	20,631.31 (87.63)
Incendios forestales*	-	1,123.50 (02.56)	171 (00.73)
Agropecuario*	2,303.43 (20.60)	1,045.96 (02.38)	23,587.57 (50.18)

* Durante el periodo 2007-2014.

** De acuerdo a INEGI, 2010.

Al analizar las cuatro perturbaciones identificadas de manera conjunta (Cuadro 10), se encontró que la extracción de leña es la de mayor superficie ha impactado en los tres ecosistemas estudiados, lo cual coincide con Escobar-Ocampo *et al.* (2009), quienes reportan que, en la zona Zoque de Chiapas, los sitios en donde realizan el acopio total de la leña es en el cafetal (76%), el acahual y bosque primario (55%), y el potrero (40%).

Además, cuando éstos ecosistemas presentan una perturbación previa (incendios, extracción, tala, ganadería) son más susceptibles a continuar con dicho proceso de perturbación, tal y como lo menciona López-Merlín (2003) quien reporta que en la zona Norte de Chiapas, el bosque secundario en su fase de regeneración conocido como “barbecho” o “acahual” constituye un importante recurso que provee de forraje, leña y otros productos de uso múltiple a las familias campesinas. La percepción de las mejores especies para leña en el ejido está en función de la actividad a la cual se dedica la unidad familiar. Para el consumo doméstico, venta de alimentos, tostar café y panadería, se prefieren las especies macizas, que hacen brasa y que producen bastante calor

Por otro lado, Cedeño-Sánchez (2001) sostiene que después del cambio de uso del suelo y la tala ilegal, los incendios forestales representan la tercera causa más importante de pérdida de vegetación forestal en México, coincidiendo con las perturbaciones estudiadas en esta investigación. Esto es confirmado por Paz *et al.*, (2012) quienes presentan como principales causas directas de la deforestación identificadas en Chiapas al cambio de uso del suelo a usos agropecuarios, sobre todo para áreas de pasto, y los incendios forestales fundamentalmente a consecuencia de las actividades agropecuarias.

En cuanto a las causas de la degradación se estima que la extracción de productos forestales sin planes de manejo (sobre todo madera y leña), las plagas y enfermedades, los incendios de superficie (que no afectan las copas de los árboles) y el pastoreo juegan un papel destacado en la degradación de los bosques, coincidiendo con los resultados planteados en el Cuadro 10.

4.3 Cuantificación de carbono almacenado

4.3.1 Carbono en árboles

En el bosque mesófilo se identificaron áreas saludables (no perturbadas) y dos grados de perturbación diferentes (arbustos y prados, y sin vegetación aparente); en este ecosistema se tiene que 7,237 ha (64.7% del total del ecosistema) no están perturbadas, 3,084 ha (27.6%) con cierto grado de perturbación y 864 ha (7.7%) sin vegetación aparente (Figura 6).

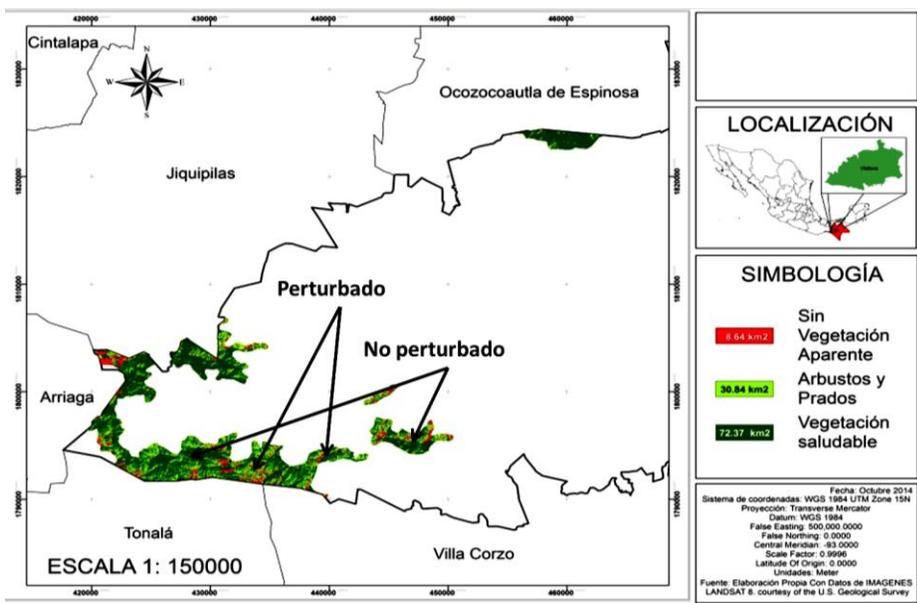


Figura 6. Sitios de muestreo en áreas perturbadas y no perturbadas en bosque mesófilo.

En el bosque de pino se encontró que se tienen 16,595 ha (37.8% del total del ecosistema) no perturbadas, 23,483 ha (53.5%) con cierto grado de perturbación y 3,818 ha (8.7%) sin vegetación aparente (Figura 7).

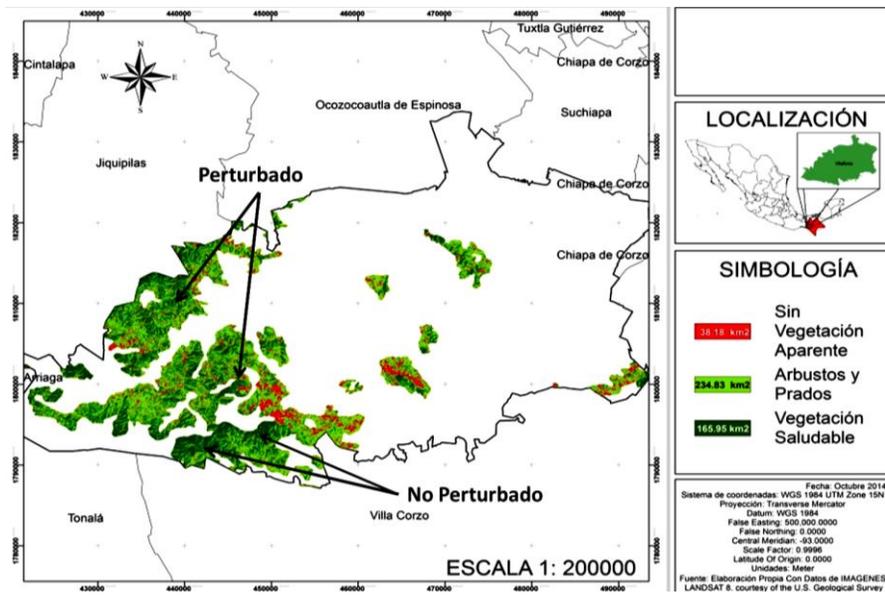


Figura 7. Sitios de muestreo en áreas perturbadas y no perturbadas en bosque de pino.

En la selva baja existe una superficie no perturbadas de 5,175 ha (22%), áreas con cierto grado de perturbación de 14,474 ha (61.5%) y para áreas sin vegetación aparente de 3,895 ha (16.5%) (Figura 8). Para cada ecosistema, se ubicaron dos sitios de muestreo en áreas no perturbadas y dos en las áreas con cierto grado de perturbación.

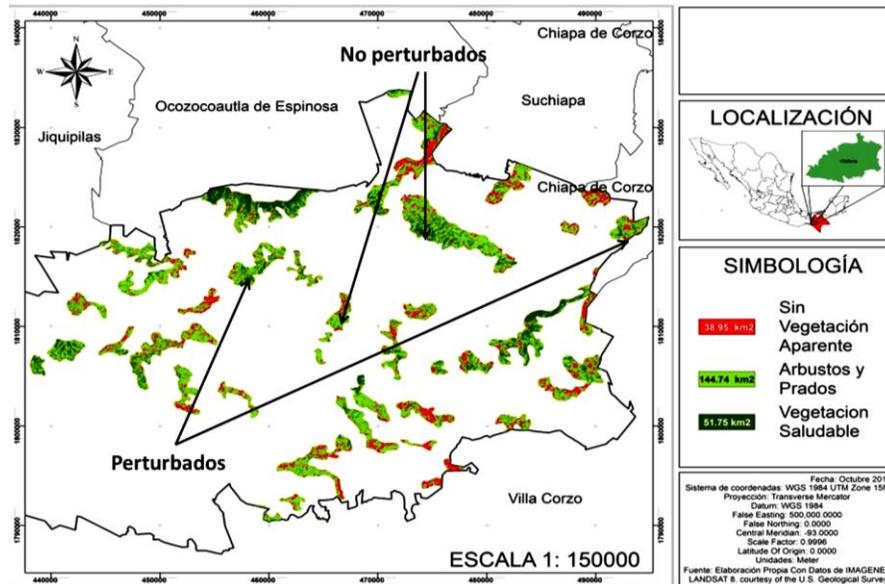


Figura 8. Sitios de muestreo en áreas perturbadas y no perturbadas en selva baja.

En el Cuadro 11 se muestra la cantidad de carbono obtenida al aplicar las fórmulas alométricas seleccionadas. En un primer análisis para el carbono contenido en toda la superficie de los ecosistemas, se puede observar que los bosques de pino y mesófilo presentan las cantidades de carbono más altas con 2'987,179.12 y 1'774,847.70 t C, mientras que la selva baja almacena solamente 723,836.47 t C.

Para el caso de las perturbaciones estudiadas, el cultivo de café en el bosque mesófilo presenta los resultados más altos en el carbono almacenado con 184.14 t ha⁻¹ C seguido del bosque mesófilo sin perturbación con 133.23 t ha⁻¹ C. Mientras que los datos más bajos obtenidos son para la selva baja afectada por incendios forestales y extracción de leña, con 22.38 y 23.88 t ha⁻¹ C, respectivamente.

Cuando se observa la cantidad de carbono almacenado por ecosistema, encontramos que el bosque de pino presenta el valor más alto con 2'987,179.12 t C, seguido del bosque mesófilo con 1'774,847.70 t C y la selva baja con 723,836.47 t C, esto se debe a la superficie total de cada ecosistema, ya que el bosque de pino presenta una superficie total de 43,896 ha, la selva baja tiene 23543 ha y el bosque mesófilo con 11,185 ha.

Cuadro 11. Carbono contenido en árboles por ecosistema muestreado.

Ecosistema	Superficie (ha)	Perturbación	Cantidad de carbono árbol ⁻¹ (kg)	Cantidad de carbono (t ha ⁻¹ C)	Cantidad de carbono por ecosistema (t C)
Bosque mesófilo	11,185	Café	316.32*	184.13	1'774,847.70
		Sin perturbación	158.86*	133.23	
Bosque de pino	43,896	Incendio	187.15	46.25	2'987,179.12
		Ganadería	70.11	41.21	
		Sin perturbación	285.09	92.37	
Selva baja	23,543	Incendio	30.20	22.38	723,836.47
		Leña	52.69	23.88	
		Sin Perturbación	36.66	38.36	

*Existe una selección de árboles acorde al cultivo.

Dentro de los ecosistemas evaluados, el bosque mesófilo con café presentó los valores más altos con 184.13 t ha⁻¹ C, seguido del bosque de pino, sin perturbación, con 92.37 t ha⁻¹ C, estos datos coinciden con lo reportado por CATIE¹ (2014) quienes manejan rangos de 32 a 121 t ha⁻¹ C para bosque mesófilo y de 80 a 106 t ha⁻¹ C para bosque de pino en dos comunidades del Municipio de Villaflores. Las áreas de selva baja afectadas por incendios forestales tuvieron un contenido total de 22.38 t ha⁻¹ C, cuando la afectación es por la extracción de leña de 23.88 t ha⁻¹ C y en áreas donde no han sido perturbadas de 38.36 t ha⁻¹ C. Estos contenidos difieren por lo reportado por CATIE, en similares ecosistemas, quienes manejan rangos de 32 a 78 t ha⁻¹ C. Éstas diferencias podrían deberse a las fórmulas alométricas, a la metodología de campo utilizadas o a la edad de dichos ecosistemas.

4.3.2 Carbono en material orgánico muerto

Se calculó el carbono almacenado en el material orgánico muerto (MOM), a partir de los datos y muestras de campo, se obtuvieron los datos que se muestran en el Cuadro 12, donde se observa que el bosque mesófilo es el que mayor cantidad de carbono contenido en este estrato tiene, mientras que el bosque de pino perturbado (ganadería o incendio forestal) reporta los datos más bajos de la investigación.

¹ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Cuadro 12. Biomasa y carbono total en material orgánico muerto por ecosistema y perturbación.

Ecosistema	Perturbación	Biomasa total en MOM (t ha ⁻¹)	Carbono total en MOM (t ha ⁻¹ C)
Bosque mesófilo	Café	76.43	34.39
	Sin perturbación	108.60	48.87
Bosque de pino	Incendio	2.52	1.13
	Ganadería	2.52	1.13
	Sin perturbación	3.35	1.51
Selva baja	Incendio	6.08	2.74
	Leña	6.88	3.10
	Sin perturbación	8.33	3.75

En este caso, el Bosque mesófilo sin perturbación tiene los datos más altos de carbono almacenado con 48.87 t ha⁻¹ C, seguido del bosque mesófilo con café con 34.39 t ha⁻¹ C, en contraste con lo obtenido con los datos del bosque de pino tanto perturbado como no perturbado, en donde se obtienen valores muy bajos con 1.51, 1.13 y 1.13 t ha⁻¹ C para no perturbado, incendio y ganadería, respectivamente. Los sitios que producen mayor cantidad de hojarasca y por tanto mantillo, con menores tasas de descomposición del mantillo encontradas harían que se acumulara mayor cantidad de C en este compartimento (González y Gallardo, 1982).

4.3.3.- Carbono en suelo

La Figura 9 muestra los resultados obtenidos del análisis de laboratorio al suelo en dos profundidades (10 y 20 cm) por ecosistema y perturbación. En dicha Figura se observa que el ecosistema de bosque mesófilo, perturbado o no, presenta los contenidos de carbono más altos con un promedio de 94.16 t ha⁻¹ C, mientras que el bosque de pino y la selva baja contienen, en promedio, 41.59 y 40.64 t ha⁻¹ C, respectivamente. La perturbación que más afecta el contenido de carbono en el suelo sigue siendo la extracción de leña, mientras que el cultivo del café favorece una mayor acumulación de carbono.

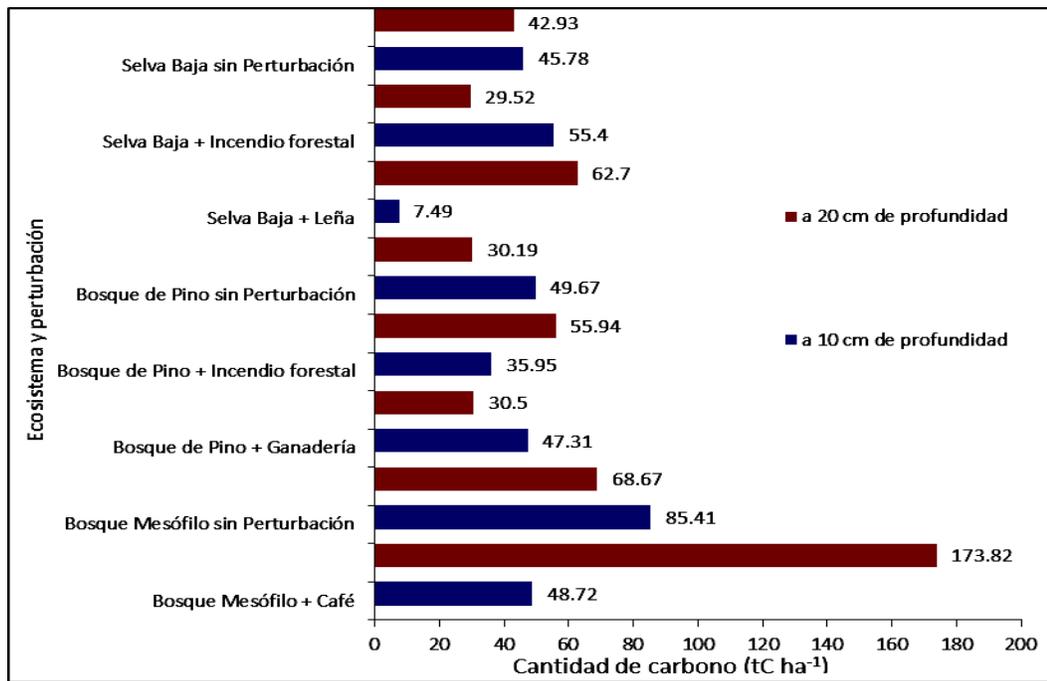


Figura 9. Carbono en suelo a dos profundidades en los ecosistemas y perturbaciones estudiadas.

Así mismo, los valores obtenidos por cada ecosistema y perturbación a 10 cm, se observa que el bosque mesófilo sin perturbación presenta una mayor cantidad de carbono almacenado con $85.41 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, mientras que la selva baja perturbada con extracción de leña es en donde está la menor cantidad de carbono almacenado con $7.49 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$.

En lo que respecta a los valores obtenidos en los suelos a una profundidad 20 cm en los mismos ecosistemas y perturbaciones; en esta profundidad, el bosque mesófilo perturbado con café presenta los valores más altos de carbono almacenado con $173.82 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, mientras que la selva baja perturbada por incendio forestal tiene los valores más bajos con $29.52 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$.

Cuando se analizan de manera separada las muestras obtenidas a profundidades diferentes, se observa que los contenidos de carbono a 20 cm presentan los valores promedios más altos con respecto a 10 cm, con $61.79 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$ contra $46.97 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, respectivamente.

Los resultados plasmados en la Figura 9, coinciden con Covalada (2010) quién reportó contenidos de carbono en suelos de la Sierra Madre de cafetales con sombra diversificada y cafetales orgánico de 132.5 a $135 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, mientras que para suelos perturbados por actividades agropecuarias el mismo autor reporta contenidos de 75.2 a $84 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, estos datos también coinciden con lo encontrado en esta investigación

ya que la selva baja perturbada con ganadería reportó datos de 47 a 68 t ha⁻¹ C a profundidades de 10 y 20 cm, respectivamente.

Así mismo, Morales (2010) encontró que, para suelos de acahuales en la Reserva Montes Azules, la materia orgánica del suelo fue mayor en la capa más superficial (10 cm) y ésta disminuye con la profundidad, lo cual se opone a lo encontrado en esta investigación en donde el promedio de carbono en la capa de 20 cm es la que mayor contenido presenta, esto podría explicarse con lo mencionado por Orihuela (2014) que reportó que el horizonte superficial edáfico es sufre directamente las consecuencias de las actividades humanas y procesos de degradación asociados y además, suele ser el más rico en carbono orgánico al recibir directamente los aportes de residuos orgánicos. La concentración de carbono orgánico disminuye a consecuencia de la degradación forestal, es decir, de la disminución en la biomasa vegetal que ocasiona un menor retorno de material vegetal al suelo

4.3.4 Carbono total

En el Cuadro 13, se analizan de los datos obtenidos en el programa estadístico, en donde se encontró que la cantidad de carbono total almacenado (árboles, materia orgánica muerta y suelo) en el bosque mesófilo (321.56 t ha⁻¹ C) es estadísticamente diferente con respecto al bosque de pino y selva baja (106.08 y 78.60 t ha⁻¹ C, respectivamente)

Cuadro 13. Cantidad de carbono almacenado por ecosistema estudiado.

Ecosistema	Carbono almacenado (t ha ⁻¹ C)
Bosque mesófilo	321.56 ^a
Bosque de pino	106.08 ^b
Selva baja	78.60 ^b

Letras distintas en columna muestran diferencias significativas, Tukey ($P \leq 0.05$)

Así mismo en el Cuadro 14, se presenta un análisis a los efectos de las perturbaciones estudiadas, encontrándose que la cantidad de carbono almacenado donde hay café, fue de 392.35 t ha⁻¹ C, lo cual resultó estadísticamente diferente que, en las áreas con extracción de leña, incendio forestal y actividades agropecuarias, con 89.68, 78.98 y 72.84 t ha⁻¹ C.

Cuadro 14. Cantidad de carbono total almacenado en ecosistema con algún tipo de perturbación estudiada (incluye árboles, materia orgánica muerta y suelo).

Perturbación	Carbono almacenado (t ha ⁻¹ C)
Cultivo de café	392.35 ^a
Extracción de leña	89.68 ^b
Afectación por incendio forestal	78.98 ^b
Avance de la frontera agropecuaria	72.84 ^b

Letras distintas en columna muestran diferencias significativas, Tukey ($P \leq 0.05$)

Los datos obtenidos de carbono total por ecosistema mostrados en el Cuadro anterior están muy por encima de lo reportado por Soto Pinto y Aguirre Dávila (2015) en las plantaciones de café en policultivos orgánicos en donde reportó el carbono almacenado desde 134.9 y hasta 194.7 Mg C ha⁻¹ de carbono total. Los resultados ponen de manifiesto la importancia del café para proporcionar la función ambiental de secuestro de carbono. Mientras que para los resultados obtenidos para el carbono total en selvas bajas se obtuvieron de 54.94 a 90.02 tC ha⁻¹, los cuales están muy debajo con lo reportado por Morales (2010) quien encontró que para “acahuales”, en la Reserva de la Biósfera Montes Azules, se tienen contenidos de carbono de 173.8±52.9 Mg C ha⁻¹, esto podría deberse al tipo de suelos, especies vegetales, condiciones atmosféricas y manejo que se realiza en cada sitio.

Para finalizar, se realizó la comparación de la combinación de los factores ecosistemas y perturbaciones existentes, en donde no se hallaron diferencias estadísticas en la cantidad de carbono almacenado.

PROPUESTA DE MANEJO POR ECOSISTEMA

Generalmente, el efecto de las perturbaciones en la dinámica de los ecosistemas se ve de forma negativa porque existe la percepción de que los ecosistemas naturales o “bien conservados” se encuentran en una situación estable que, ocasionalmente, alteran las perturbaciones, lo que hace necesario poner en práctica medidas de prevención o remediación para minimizar los daños que estas causan. Tales ideas se basan en la noción del equilibrio ecológico, fuertemente arraigada en el pensamiento conservacionista (Pickett *et al.*, 1997). Desde esa perspectiva, se supone que el estado idóneo de la naturaleza consiste en ecosistemas que, a lo largo del tiempo, han alcanzado el clímax, esto es, su máximo estado de desarrollo potencial, y que se mantiene en equilibrio con las condiciones ambientales.

Sin embargo, numerosas investigaciones realizadas en las últimas décadas rechazan las ideas anteriores descritas, dando lugar a un cambio de paradigma en la ciencia de la ecología: la concepción actual es que los ecosistemas naturales son dinámicos, se modifican continuamente, presentan cambios complejos, pueden estar en diferentes estados cercanos o no a la estabilidad, y las perturbaciones naturales y antropogénicas tienen un papel importante en su funcionamiento (Sousa, 1984; Pickett y White, 1985; Botkin 1990; De Leo y Levin, 1997; Pickett *et al.*, 1997; Terradas, 2001; Gunderson y Holling, 2002; Smith *et al.*, 2007).

La evidencia científica también muestra que la diversidad biológica es resultado de procesos evolutivos en los que las perturbaciones han actuado como fuerzas selectivas y como parte de los procesos ecológicos que mantienen, e incluso generan, patrones de variación espacial y temporal en la diversidad de ecosistemas, especies y poblaciones (Levin y Paine, 1974; Connell, 1979; Sousa, 1984; Pickett y White, 1985; Turner *et al.* 1997; Romme *et al.*, 1998; Foster, 2000; Brawn *et al.*, 2001; Smith, 2007). Con base en lo anterior, y considerando las características propias de cada ecosistema, se propone un programa de manejo de recursos naturales de tres fases de aplicación, basadas en los procesos claves de las Escuelas de Campo según Braun *et al.* (1999) y en el Manual Básico de Ordenamiento Territorial Comunitario de la Comisión Nacional Forestal (2007), las cuales se describen, de manera general, a continuación:

Fase 1.- Acercamiento y/o posicionamiento (Procesos de facilitación y planeación):

El acercamiento consiste en el contacto con la comunidad, las personas y los recursos con los que cuenta (diagnóstico inicial), a partir de este primer acercamiento existe una etapa de posicionamiento tanto del personal técnico como de los objetivos de intervención e ideas de trabajo que se tratan de impulsar.

En esta fase será recomendable iniciar con el desarrollo de las capacidades locales en los temas que son necesarios impulsar, a través de reuniones, pláticas, talleres o cursos, bajo una metodología identificada. La metodología de las Escuelas de Campo (ECAS) es una buena opción ya que se basa en el concepto de aprender por descubrimiento y la parte central de la metodología es el aprendizaje vivencial y participativo de generación, desarrollo y socialización grupal de conocimientos, basada en la educación no formal para adultos, que utiliza el proceso completo de producción en el campo, procesamiento y mercadeo o de resolución de un problema específico, como recurso de enseñanza aprendizaje, para el empoderamiento y desarrollo de las comunidades (Braun *et al.*, 1999; PROINPA, 2001; Ardon, 2003).

Fase 2.- Ordenamiento comunitario y/o planificación territorial y puesta en marcha de las actividades (Procesos de aprendizaje y desarrollo profundo de conocimientos):

En esta fase es importante considerar que se cuentan con recursos necesarios, tanto humanos, materiales y financieros, para la puesta en marcha de la propuesta de programa de manejo, ya que, de lo contrario, podría causar desaliento y retroceso en el trabajo. Actividades de organización interna de la comunidad y el ordenamiento territorial serán cruciales para iniciar con la puesta en marcha de las actividades, las cuales deberán ser realizadas de manera integral y no de manera aislada. Considerando que cada actividad requiere de tiempo y esfuerzo, y que, en muchas ocasiones, éstas se realizarán sin la recompensa monetaria por el jornal realizado, es necesario establecer un sitio o parcela de trabajo que sirva como modelo donde se realicen los trabajos. Se mencionan una serie de actividades acordes a cada ecosistema y de acuerdo al nivel de intervención (protección, aprovechamiento, restauración y/o conservación de suelos) que se considere trabajar.

Bosque mesófilo:

Protección: una de las acciones principales es la apertura y/o mantenimiento de brechas cortafuego en los límites con otros ecosistemas, como medida de prevención y/o control de incendios forestales, además de recorridos de campo para la detección de plagas, enfermedades e incendios forestales.

Aprovechamiento: en base a los resultados obtenidos en esta investigación con respecto al almacenamiento de carbono, será importante la diversificación productiva enfocada al fomento de los cultivos del café y la palma camedor, así como cultivos como nuez de macadamia o zapote, esto tomando en cuenta los instrumentos legales existentes en la zona (Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera La Sepultura, entre otros). Así mismo, para reducir las cargas de combustibles, se podría fomentar la extracción de material muerto (leña) para uso doméstico en las

comunidades, sobre todo de combustibles de 100 (diámetros de 2.6 a 7.5 cm) y 1000 h (diámetros mayores a 7.6 cm).

Restauración: este tipo de acciones no son tan propicias para este ecosistema, típicamente se ha optado por la regeneración natural del ecosistema para su restauración.

Conservación de suelos: dentro de las acciones que pueden implementarse en este ecosistema está la elaboración de terrazas (individuales o de formación, sobre todo se hay café), cabeceo de cárcavas y afine de talud, establecimiento de presas filtrantes, acomodo de material vegetativo muerto en curvas a nivel, y el establecimiento de sistemas agroforestales (café y palma), principalmente.

Bosque de pino:

Protección: considerando que este ecosistema es dependiente al fuego (sensibilidad al fuego), se pueden ejecutar acciones sin uso del fuego (brechas cortafuego) o con uso del mismo (quemadas prescritas y líneas negras), esto teniendo en cuenta los recursos disponibles y, las necesidades, experiencias y conocimientos con que se cuenten de manera local.

Aprovechamiento: en este ecosistema es donde mayor impulso ha tenido los aprovechamientos tradicionales de madera (compra de árboles y aprovechamiento no controlado de la madera a través de aserraderos), por lo que ésta podría ser una buena opción siempre y cuando se tengan las condiciones propicias. En caso contrario, el establecer una estrategia de aprovechamiento doméstico para las comunidades cercanas será otra opción viable.

Restauración: la acción típica de restauración de este ecosistema es la reforestación, por lo que habría que tomar en cuenta la especie nativa para no propiciar la invasión de nuevas especies y desaparición de las especies nativas, y asegurar el prendimiento y crecimiento de la mayoría de las plantas.

Conservación de suelos: las acciones que, típicamente, se han promovido para la conservación de suelos en este ecosistema son las presas filtrantes (ramas, morillos, piedra acomodada, mampostería o gaviones, dependiendo el tamaño de la cárcava), cabeceó de taludes y estabilización de cárcavas, además del acomodo de material vegetativo muerto en curvas a nivel y cortinas rompevientos. En ecosistemas donde hay caminos, es posible realizar acciones en ambos lados (paralelas al camino) para conservarlos por mayor tiempo, tales como: canales de desviación de agua, contracunetas y/o brechas de saca.

Selva baja:

Protección: en este ecosistema, al igual que en el Bosque mesófilo, las acciones principales es la apertura y/o mantenimiento de brechas cortafuego en los límites con otros ecosistemas, como medida de prevención y/o control de incendios forestales, esto por la sensibilidad del ecosistema al fuego, además de recorridos de campo para la detección de plagas, enfermedades e incendios forestales.

Aprovechamiento: considerando la fragilidad, en estructura y funcionalidad, de éste ecosistema para las acciones humanas, podrían existir aprovechamientos bajo algunos esquemas regulados como las Unidades de Manejo de Vida Silvestre (UMAS) o algunas actividades productivas integrales donde se incluya la restauración, conservación de suelos y la protección.

Restauración: la restauración en este ecosistema esté enfocada hacia el enriquecimiento de acahuales, el cual consiste en el incremento de la regeneración natural de las especies primarias o aquellas de interés particular (enriquecimiento dirigido), mediante el uso de las especies secundarias, que generalmente con mayores habilidades competitivas y de rápido crecimiento suelen inhibir la regeneración de las especies primarias.

Conservación de suelos: considerando que los terrenos de las Selvas Bajas tienen menores pendientes (en comparación con los Bosques Mesófilo y de Pino), las obras de conservación de suelos están enfocadas hacia el cabeceo de cárcavas y afine de talud, establecimiento de presas filtrantes, acomodo de material vegetativo muerto en curvas a nivel, y el establecimiento de cortinas rompevientos, principalmente.

Todas las obras de conservación de suelos se proponen en base a lo recomendado por CONAFOR (2007) y propuestas para los suelos forestales.

Fase 3.- Escalamiento y generación de información (Procesos de desarrollo de bases para la acción colectiva y de maduración de la escuela de campo):

El escalamiento será posible una vez que los productores estén conscientes del valor de uso de las actividades en su vida diaria, es decir, cuando el conocimiento local se combina con tecnologías efectivas, se generan soluciones relevantes y adecuadas a las realidades locales (Friis-Hansen y Egelyng 2006). El escalamiento de innovaciones es una forma efectiva de promover el desarrollo rural. El mayor desafío no es identificar cuáles son efectivas o analizar la creatividad de los actores locales y los cambios que van produciendo en sus vidas y comunidades; el desafío concreto es potenciar esos procesos innovadores y aumentar la escala de los efectos de los mismos (Gómez y Pinto, 2015).

En esta fase se deben de desarrollar las capacidades de sensibilización de otros productores, gestión de recursos externos y la generación de conocimientos que ayuden a la experimentación de nuevas formas u objetos de trabajo. Para realizar el escalamiento, es necesario seleccionar las innovaciones tecnológicas, establecer una estrategia de escalamiento, elegir un modelo de negocio adecuado al tipo de innovación seleccionada y a la estrategia de escalamiento, e identificación de buenas prácticas relevantes y su aplicación-adopción (Paz, 2013).

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se considera que en los ecosistemas seleccionados existen, al menos, una de las perturbaciones humanas estudiadas, ya sea de manera directa o indirecta, esto debido a la cercanía de los centros de población a los ecosistemas, además del avance de la frontera agropecuaria y a los incendios forestales, principalmente.

Se observa que, en las comunidades de la parte alta del municipio, existe una tendencia de aumento de la ganadería como actividad productiva preponderante (ya sea de manera extensiva o como ganadería sustentable), aunque también existen comunidades que están diversificando sus actividades hacia el café (bajo sombra o tolerante al Sol), palma camedor y/o resinación de árboles de Pino.

El cultivo del café es la única perturbación que mantiene un mayor almacenamiento de carbono, con $396.17 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, en comparación con las demás perturbaciones estudiadas (extracción de leña con $90.02 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, afectación por incendios forestales con $79.20 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$, ganadería y cultivos de maíz y frijol, con $72.96 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$).

La extracción de leña es la perturbación que reduce en mayor cantidad en el almacenamiento de carbono en los ecosistemas, ya que la mayor parte de la superficie total de los ecosistemas estudiados presenta dicha perturbación con cerca del 88% en selva baja, 86% en bosque de pino y el 32% en bosque mesófilo.

Con base a lo anterior, se cumple la hipótesis planteada en este estudio la cual menciona que, a partir de la evaluación de las diferentes perturbaciones antropogénicas sobre los recursos naturales y la cuantificación del almacenamiento del carbono atmosférico, será posible establecer una línea base de conocimientos que ayudarán a proponer las actividades de manejo para la conservación de los principales ecosistemas en el municipio de Villaflores, Chiapas.

RECOMENDACIONES

Es necesario realizar una investigación más profunda sobre la extracción y uso de la leña en las comunidades rurales, que permita ofrecer alternativas viables para su atención, es decir, identificar las actividades que ayuden a minimizar el impacto por esta perturbación (p.ej. fogones ecológicos y bancos dendroenergéticos).

En los ecosistemas estudiados, existe un potencial alto de afectación por incendios forestales, por la cantidad de material leñoso caído existente, por lo que es necesario profundizar sobre regímenes, sensibilidad y comportamiento del fuego en los ecosistemas.

Se deben impulsar acciones enfocadas a la producción, protección, restauración y conservación de los ecosistemas, como quemas prescritas, líneas negras, brechas cortafuego, obras de conservación de suelo y agua, enriquecimiento de acahuals, cafecultura (bajo sombra y tolerante al sol), sistemas silvopastoriles, plantaciones dendroenergéticas y maíz intercalado con árboles frutales (MIAF), entre otras.

En cuanto a la cafecultura habría que considerar su impulso en las comunidades que presentan las condiciones adecuadas para su cultivo (partes altas del municipio), además de promover la siembra de variedades resistentes a plagas y enfermedades y tolerantes a la luz solar.

Considerando la dinámica de los ecosistemas y que en este estudio se establece la línea base, es necesario realizar en un futuro un estudio en los mismos sitios de muestreos para su posterior comparación poder determinar, con mayor facilidad, la dinámica de almacenamientos y emisión que se tiene por tipo de ecosistema y/o perturbación, así como sus efectos sobre la biodiversidad y el comportamiento que tienen los ecosistemas, en general, ante las perturbaciones.

6. LITERATURA CITADA

- Agee, J.K. 2002. The fallacy of passive management. *Conservation in Practice* 3: 18-25.
- Agee, J.K., y C.N. Skinner. 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management* 211: 83-96.
- Alemán, S.T., G.B. Ferguson, T.J. Nahed, R.R. Pinto, V.M.R. Parra, M. Ibrahim, H. Gómez, M.I. Carmona, F.G. Jiménez, F.J. Medina, J. Mora, B. Martínez, M.J. López, L.A. Hernández y S.D. Hernández. (2007). *Ganadería, desarrollo y ambiente: una visión para Chiapas*. Fundación Produce Chiapas, A. C. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. 122 p.
- Anta, S. 2004. El Café sustentable: una nueva lucha para los pequeños productores de café en México. En: *La Jornada Ecológica*. Café: sustentable, orgánico y mexicano. Agosto.
- Ardón M. M. 2003. *Las Escuelas de Campo para Agricultores (ECAs) en el Desarrollo Rural. Una Propuesta Metodológica Coherente*. Tegucigalpa, honduras. 11 pág.
- Baede, A., P. Van der Linden y A. Verbruggen. (eds). 2007. Anexo II, Cambio climático 2007, informe de síntesis (en línea). Disponible en http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf. Consultado 12 jun. 2009.
- Behm, V. 2005. *Curso Básico ArcView 3.2. Teoría y práctica*. Caracas, Venezuela.
- Bhatt, B. P y J.M.S. Tomar. 2002. Firewood properties of some Indian mountain tree and shrub species. *Biomass and Bioenergy*: 257-260.
- BIOMASA. 2010. *Sistemas de Información para el Manejo de Incendios Forestales (SIMIF), Proyecto: "Elaboración de un Sistema de Análisis, Planeación y Toma de Decisiones para la Protección Contra Incendios Forestales en el Municipio de Villaflores, Chiapas"*. Biodiversidad, Medio Ambiente, Suelo y Agua, A. C. & Consultoría para el Manejo del Fuego. Chiapas, México. 158 p.
- BIOMASA. 2014. *Implementación de estrategias y actividades de manejo de recursos naturales en el municipio de Villaflores, Chiapas. Reporte de actividades*. Documento interno.
- Bormann, F.H., y G.E. Likens. 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem*. Springer Verlag, Nueva York.
- Botkin, D.B. 1990. *Discordant harmonies: A new ecology for the twenty-first century*. Oxford University Press, Nueva York.
- Braun, A.R., T. Graham y M. Fernández. 1999. *La Escuela de Campo para MIP y el Comité de Investigación de Agrícola Local*. Publicado en *Manejo Integrado de Plagas*. Vol. 53. CATIE, Costa Rica.

- Brawn, J.D., S.K. Robinson y F.R. Thompson III. 2001. The role of disturbance in the ecology and conservation of birds. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32: 251-276.
- Brown, J.K. 1974. Handbook of inventorying downed woody material. Gen. Tech. Rep. INT-16. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 24 p.
- Brown, S. y A. Lugo. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*. 6(1): 1-32.
- Búrquez, A. y A. Martínez Yrizar. 1997. Conservation and landscape transformation in Sonora. *Journal of the Southwest* 39:372-398.
- Búrquez, A., A. Martínez Yrizar, M.E. Miller, K. Rojas, M.A. Quintana y D. Yetman. 1998. Mexican grasslands and the changing aridlands of Mexico: an overview and a case study in northwestern Mexico. Pp. 21-32. En: *The future of arid grasslands: identifying issues seeking solutions*. B. Telmann, D. Finch, C. Edminster y R. Hamre (eds.). Proceedings RMRS P 3, Fort Collins, CO. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Res. Stn.
- Castillo, A. y V. Toledo. 2000. Applying ecology in the third world: the case of Mexico. *Bioscience*. Jan. Vol. 50, No. 1, pp. 71-74.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 2014. Cuantificación de servicios ambientales en dos comunidades de la cuenca El Tablón, Chiapas, Sur de México. Reporte de consultoría dentro del proyecto: Implementación de estrategias y actividades de manejo de los recursos naturales en el Municipio de Villaflores, Chiapas para la adaptación y mitigación al cambio climático.
- Centro Municipal de Control de Incendios (CEMIF). 2014. Resultados de la campaña de incendios forestales en el Municipio de Villaflores, Chiapas. Documento interno.
- Chiappy, C.J. 2001. Afinidades fitogeográficas entre Yucatán y Cuba: un análisis cuantitativo de implicaciones biogeográficas y de conservación de la biodiversidad. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias UNAM.
- Christensen, J.H., O.B. Christensen, P. Lopez, E. van Meijgaard y M. Botzet. 1996. The HIRHAM4 Regional Atmospheric Climate Model. DMI Scientific Rep. 96-4, DMI, Copenhagen.
- Christensen, N.L. 1997. Managing for heterogeneity and complexity on dynamic landscapes, en S.T.A. Pickett, R.S. Ostfeld, M. Shachack y G.E. Likens (eds.), *The ecological basis of conservation: Heterogeneity, ecosystems, and biodiversity*. Chapman & Hall, Nueva York, pp. 167-186.
- Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo. 2010. Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas

- secas del Pacífico de México. Fondo de Cultura Económica, México, DF. ISBN CONABIO: 970-9000-38-1
- CEC (Commission for Environmental Cooperation). 1997. Ecological regions of North America: Toward a common perspective. Commission for Environmental Cooperation. Available at http://www.cec.org/files/PDF/biodiversity/eco-eng_EN.pdf.
- Cedeño-Sánchez, O. 2001 Situación actual sobre los incendios forestales y sus principales causas. In: Memoria del II Foro Internacional sobre los Aprovechamientos Forestales en Selvas y su Relación con el Ambiente. SEMARNAT-FAO-Gob. Estado de Veracruz. pp: 235-252
- CEIEG (Centro Estatal de Información, Estadística y Geografía). 2012. Información del Municipio de Villaflores. Secretaría de Planeación y Finanzas. Chiapas. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2007. Manual Básico para la elaboración de Ordenamiento Territorial Comunitario. Gerencia de Silvicultura Comunitaria.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2007. Manual de prácticas de conservación de obras de suelo y agua. Zapopan, Jalisco, México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Cambio Climático y REDD, Análisis sobre su aplicación en el Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales. Guadalajara, Jal.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y The Nature Conservancy. 2009. Guía para la elaboración de un Programa de manejo integral del fuego en Áreas Naturales Protegidas y Regiones Prioritarias para la Conservación. Chiapas, México. 28 p.
- Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable (CMDRS). 2006. Plan Municipal de Desarrollo Rural Sustentable de Villaflores, Chiapas. 43 p.
- Covaleda, S. 2010. Modelos de estados y transiciones para los almacenes de carbono en las principales regiones de Chiapas. Reporte de estancia postdoctoral en El Colegio de la Frontera Sur y el Colegio de Postgraduados. S.C.L.C., Chiapas. 61 p. y anexos.
- De Jong, H.J. 2001. Cambio de uso del suelo y flujos de carbono en los Altos de Chipas México. Simposio Internacional: Medición y Monitoreo e la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de octubre del 2001, Valdivia Chile. 33-38 p.
- De Jong, B., F. Rojas-García, P. Martínez-Zurimendí y F. Paz-Pellat. 2015. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science*. DOI 10.1007/s13595-015-0456-y
- De Leo, G., y S. Levin. 1997. The multifaceted aspects of ecosystem integrity. *Conservation Ecology* 1: 3.

- Díaz, R. y O. Masera. 2003. Uso de la leña en México: situación actual, retos y oportunidades. Balance Nacional de Energía. Secretaría de Energía, México D.F. pp. 99-109.
- Escobar, A. 1997. Whose knowledge, whose nature? Biodiversity conservation and social movement's in political ecology. Trabajo preparado para el IV Foro del Ajusco, ¿De quién es la naturaleza? Biodiversidad, Globalización y Sustentabilidad en América Latina y el Caribe. El Colegio de México-PNUMA, 19-21 de noviembre de 1997. 1-6 pp.
- Escobar Ocampo, M.C., J.A. Niños Cruz, N. Ramírez Marcial y C. Yépez Pacheco. 2009. Diagnóstico participativo del uso, demanda y abastecimiento de leña en una comunidad Zoque del centro de Chiapas, México. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable. Vol. 5 Número 2, El Fuerte, Sinaloa. Pp 201-223. ISSN: 1665-0441
- Esquivel E. 2005. Uso de suelo y almacenamiento de carbono en dos comunidades del municipio de Marqués de Comillas, Chiapas. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. D.F. México. 136 p.
- FAO. 2004. Global forest resources assessment update 2005, Terms and definitions (Final version), Rome. (<http://www.fao.org/docrep/007/ae156e/ae156e00.HTM>, acceso: 04 de enero de 2012).
- FAO. 2006. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible. FAO. Roma.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). 2006. Plan Rector de Producción y Conservación de la microcuenca El Tablón.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). 2007. Plan Rector de Producción y Conservación de la microcuenca Villahermosa.
- Flores, M.G., X. Jiménez, F. Madrigal, F. Moncayo y F. Takaki. 1971. Memorias del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- Forman, R.T.T., y M. Godron. 1986. Landscape ecology. John Wiley & Sons, Nueva York.
- Foster D.R., D.H. Knight y J.F. Franklin. 1998. Landscape patterns and legacies resulting from large, infrequent forest disturbances. *Ecosyst* 1(6):497–510
- Foster, D.R. 2000. Conservation lessons and challenges from ecological history. *Forest History Today* Fall, 2-11.
- Friis-Hansen, E. y H. Egelyng. 2006. Supporting Local Innovation for Rural Development: Analisis and Review of Five Innovation Support Funds. DIIS.
- Geifus, F. 2009. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación / Frans Geifus – San José, C.R.: IICA, 2002. Octava reimpresión. 217 p.

- González J, E. 1990. Estudio estructural y de composición en dos tipos de bosques de la Zona Norte húmeda de Costa Rica, y sus posibilidades de manejo. Tesis Lic. Heredia, CR, UNA. 80 p.
- González-Espinosa, M., N. Ramírez-Marcial, A. Camacho-Cruz, S. C. Holz, J. M. Rey-Benayas y M. R. Parra-Vázquez. 2007. Restauración de bosques en territorios indígenas de Chiapas: modelos ecológicos y estrategias de acción. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80 (Suplemento):11-23.
- González, M. y J. Gallardo. 1982. El efecto hojarasca: una revisión. *An. Edafol. Agrobiol.*
- Gobierno del Estado de Chiapas, 2012. Programa de Acción contra el Cambio Climático de Chiapas (PACCCH). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Gunderson, L.H., y C.S. Holling (eds.). 2002. *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington, D.C.
- Guevara-Hernandez, F. 2007. ¿Y después qué? action-research and ethnography on governance, actors and development in southern Mexico. Technology and Agrarian Development Group. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 223 p.
- Hernández Sampieri, R., C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio. 1997. *Metodología de la investigación*. Ed. McGraw Hill Interamericana. ISBN 968-422-931-3.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2009. El fogón sin humo, una propuesta de implementación para Villaflores, Chiapas. Documento interno.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Información Municipal de Villaflores, Chiapas. México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. México en cifras: estadísticas municipales de Villaflores, Chiapas, en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/Movil/MexicoCifras/mexicoCifras.aspx?em=07108&i=e>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1: 250,000, Serie V, DGG-INEGI, México.
- Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). 2010. Manual y Procedimientos para el muestreo de campo. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Guadalajara, Jal.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2006. "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use." <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4>.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2007. Resumen Técnico. In Cambio Climático 2007: Mitigación. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre

- Cambio Climático. B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK y NY.
- Jackson, W.J. y A.W. Ingles. 2004. Técnicas Participativas para Actividades Forestales Comunitarias: Manual de Campo. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, RU y Fondo Mundial para la Naturaleza, Gland, Suiza, xii + 128 pp.
- Jardel P. E.J., E. Alvarado, J.E. Morfín-Ríos, F. Castillo-Navarro y J.G. Flores-Garnica. 2009. Regímenes de fuego en ecosistemas forestales de México. En: J.G. Flores-Garnica (Ed.). Impacto ambiental de incendios forestales. Mundi Prensa. INIFAP. COLPOS. México D.F. Mex. 73-100 Pp.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and Deforestation. Central America in the 1980's and 1990's: A Policy Perspective. Center for International Forestry Research, Jakarta.
http://www.cifor.cigar.org/publications/pdf_files/Spubs/SP-LStockn.pdf
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los Trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Technical Cooperation, Eschborn
- Levin, S.A., y R.T. Paine. 1974. Disturbance, patch formation, and community structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 71: 2744-2747.
- López-Merlín. 2002. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* (Schecht. And Cham) Benth y *Guazuma ulmifolia* Lam., en dos comunidades del Norte de Chiapas. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de Las Casas. Chiapas. 25p.
- López, Merlín, D., L. Soto Pinto, G. Jiménez Ferrer y S. Hernández Daumás. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *acacia pennatula* y *guazuma ulmifolia* en dos comunidades del norte de Chiapas, México Interciencia. En línea <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908105>> ISSN 0378-1844. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2015.
- Maass, M. 1995. Conversion of tropical dry forest to pasture and agriculture, en S.H. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (eds.), *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press, Londres, pp. 399-422.
- MacDiken, K. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage In Forestry and Agroforestry Projects. Arlintong, VA. Winrock International Institute for Agricultural Development.
- Malhi, Y., D. Wood, T. Baker, J. Wright, O. Phillips, T. Cochrane, P. Meir, J. Chave, S. Almeida, L. Arroyo, N. Higuchi, T. Killeen, S. Laurance, W. Laurance, S. Lewis, A. Monteagudo, D. Neill, P. Vargas, N. Pitman y C.A. Quesada. 2006. *Global Change Biology*. 12: 1107-1138.

- Manson, R.H., E.J. Jardel Peláez *et al.* 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico, en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México. Pp 131-184
- Martínez-Yrizar, A., M. Búrquez y M. Maass. 2000. Structure and functioning of tropical deciduous forest in Western Mexico. Pp. 19-35. En: *The tropical deciduous forest of Alamos: biodiversity of a threatened ecosystem in Mexico*. R.H. Robichaux y D. Yetman (eds.) University of Arizona Press, Tucson.
- Masera O.R., A.D. Cerón y A. Ordoñez. 2001 Forestry mitigation options for Mexico: finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 6:291–312
- Masera O, R. Edwards, C. Armendariz, V. Berrueta, M. Jhonson, Rojas, H. Riojas-Rodríguez y K. Smith. 2007. Impact of Patsari improved cookstoves on indoor air quality in Michoacán México. *Energy for Sustainable Development*. XI (2): 45-56p.
- Miranda, F. y E. Hernández-Xolocotzi. 1963. Los Tipos de Vegetación de México y su Clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 23. C.P. SARH. México.
- Montoya G., L. Soto, B. De Jong, K. Nelson, P. Farias, P. Yakactic, J. Taylor y R. Tipper. 1995. Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología, México, 77 p.
- Morales Coutiño, T. A. 2010. Carbono en sistemas ganaderos en un paisaje de conservación REBIMA, Chiapas, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de la Frontera Sur, Chiapas.
- Moguel, P. y V.M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13 (1), 11 - 21.
- Morrissey, A y J. Justus. 1998. Global Climate Change. Committee for The National Institute for the Environment, Washington D. C.
- Müller, E., L. Guillén, C.H. Fedlemeier y F. Cartín. 1992. Bosque secundario: Una reforestación natural. Proyecto CATIE/COSUDE-COSEFORMA. Costa Rica. 5 p.
- Myers, R.L. 2006. Living with fire: Sustaining ecosystems and livelihoods through integrated fire management. The Nature Conservancy, Tallase.
- Niño Alcocer, M. y A. Victoria Hernández. 2014. Información del uso del suelo y vegetación Escala 1:250,000, Serie V.
- Niños Cruz, J. A. 2007. Establecimiento de una plantación forestal para la producción de leña en Ocuilapa de Juárez, municipio de Ocozacoautla de Espinosa, Chiapas. Proyecto de desarrollo de la Especialidad en Desarrollo Ecológico de Plantaciones Forestales. ECOSUR. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

- Nystrom M, C. Folke y F. Moberg. 2000 Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. *Trends Ecol Evol* 15(10):413–417
- Orihuela B, E. 2014. Dinámica de carbon en la selva de la Reserva de la Biósfera “Selva El Ocote” en el Estado de Chiapas. Tesis de Doctorado. Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México.
- Ostfeld, R.S., S.T.A. Pickett, M. Shachak y G.E. Likens. 1997. Defining the scientific issues, en S.T.A. Pickett, R.S. Ostfeld, M. Shachack y G.E. Likens (eds.), *The ecological basis of conservation: Heterogeneity, ecosystems, and biodiversity*. Chapman & Hall, Nueva York, pp. 3-10.
- Paine, R.T., M.J. Tegner y E.A. Johnson. 1998. Compound perturbations yield ecological surprises. *Ecosystems* 1:535-545.
- Paz P, F. y R. Cuevas. 2012. Estado actual del conocimiento del ciclo de carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2011. Texcoco, Estado de México. ISBN: 978-607-715-085-5.
- Paz, A. 2013. Experiencias del Programa de Investigación sobre Escalamiento de Innovaciones Rurales. Lima, IEP, IDRC-CRDI; FIDA, 2013. (Documento de trabajo, 181. Estudios sobre el desarrollo, 5)
- Perfecto, I., R.A. Rice, R. Greenberg y M.E. Van der Voort. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8): 598-608.
- Pickett, S.T.A., y P.S. White (ed.). 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, Orlando.
- Pickett, S.T.A., R.S. Ostfeld, M. Shachack y G.E. Likens (eds.). 1997. *The ecological basis of conservation: Heterogeneity, ecosystems and biodiversity*. Chapman and Hall, Nueva York.
- Pinto, R., H. Gómez, B. Martínez, A. Hernández, F. Medina, L. Ortega y L. Ramírez. 2004. Especies forrajeras utilizadas bajo silvo-pastoreo en el centro de Chiapas. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Avances en investigación pecuaria*. Vol. 8, número 002, Colima, México. ISSN 0188-7890.
- Phillips, O.L., *et al.* 1998. “Changes in the Carbon Balance of Tropical Forest: Evidence from Long-Term Plots”. In: *Science*, 16 october: Vol 282, No. 5388: 439-442
- PROINPA. 2001. Pauta para facilitadores de Escuelas de Campo de Agricultores. Cochabamba, Bolivia.
- Quesada, R. 2009. Definiciones forestales (en línea). Consultado 20 set. 2011. Disponible en www.sirefor.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=9
- Quirós, K. 2002. Composición florística y estructural para el bosque primario del Hotel La Laguna del Lagarto Lodge, Boca Tapada de Pital, San Carlos,

- Alajuela, Costa Rica. Práctica de Especialidad. Cartago, CR: ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 91 p.
- Rzedowski, J. 1978. La Vegetación de México. Ed. LIMUSA. México, D.F.
- Rice, R. y R. Greenberg. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29:3.
- Rijal, H. B. y H. Yoshida. 2002. Investigation and evaluation of firewood consumption in traditional houses in Nepal. *Proceedings: Indoor Air: 1000-1005*.
- Rodríguez, G., N. Sanabria, C. Ramírez, F. Guevara, R. Perezgrovas y L. Zaragoza. 2012. La gallina de rancho y el caldo de gallina como elementos de identidad campesina Frailesca. En: *AICA 2 (2012) 25 25-34*
- Romahn, C., H. Ramírez y J. Treviño. 1994. *Dendrometría*. Universidad Autónoma Chapingo. 354 pp.
- Romme, W.H., y D.H. Knight. 1981. Fire frequency and subalpine forest succession along a topographic gradient in Wyoming. *Ecology* 62: 319-326.
- Romme, W.H., E.H. Everham, L.E. Frelich, M.A. Moritz y R.E. Sparks. 1998. Are large, infrequent disturbances qualitatively different from small, frequent disturbances? *Ecosystems* 1: 524-534.
- Rügnitz, M. T., M. L. Chacón y R. Porro. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Lima, Perú. 79 p.
- Sabino, C. 1992. El proceso de la investigación. Ed. Panapo. Caracas, Venezuela. 216 pp
- Sandberg, D.V., R.D. Ottmar y G.H. Cushon. 2001. Characterizing fuels in the 21st Century. *International Journal of Wildland Fire* 10:381-387.
- Santiago, I. 2005. Fundamentos de ArcGis. Versión ArcView 9.1. Tutorial de lecturas. Oficina de Gerencia y Presupuesto. Puerto Rico.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Estadísticas de información agropecuaria y pesquera de Villaflores, Chiapas. En: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Smith K., K. Dutta, C. Chengappa, P.P.S. Gusain, O. Masera, V. Berrueta, R. Edwards, R. Bailis y K. Naumoff. 2007. Monitoring and evaluation of improved biomass cookstove programs for indoor air quality and stove performance: conclusions from the Household Energy and Health Project. *Energy for Sustainable Development*. XI (2): 5-18 p.
- Software Analisis Estadístico (SAS). 2000. Institute Inc. SAS/Stat Useris Guide, Release 6.03. Edition. Cary, NC: SAS Institute inc. 1028 pp.
- Soto Pinto, L. y C.M. Aguirre Dávila. 2015. Carbon Stocks in Organic Coffee Systems in Chiapas, Mexico. En: *Journal of Agricultural Science*; Vol. 7, No. 1; 2015. ISSN 1916-9752 E-ISSN 1916-9760

- Soto-Pinto L., G. Jiménez-Ferrer, A. Vargas-Guillen, B. De Jong-Bergsma y E. Esquivel-Bazán. 2004. Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México. *Revista Forestal Iberoamericana* Vol. 1 (1): 44-50.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353-391.
- Stephens, B. B., *et al.* 2007. Weak Northern and Strong Tropical Land Carbon uptake from Vertical Profiles of atmospheric Co₂. *Science*, Vol. 316. no. 5832, pp. 1732-1735. *Doi*: 10.1126/science.1137004.
- Terradas, J. 2001. *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes.* Ediciones Omega, Barcelona.
- Trejo-Vázquez, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-142.
- Turner, M.G., V.H. Dale y E.H. Everham. 1997. Fires, hurricanes, and volcanoes: Comparing large disturbances. *BioScience* 47: 758-768.
- Turner, M.G., R.H. Gardner, y R.V. O'Neill. 2001. *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process*, Springer Verlag, Nueva York.
- Ulate-Quesada, C.A. 2011. *Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica.* Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Vallejo, A., P. Rodríguez, C. Martínez, P. Hernández y B. De Jong. 2007. *Guía para el diseño de proyectos MDL forestal y de bioenergía.* CATIE, Turrialba, CR. 253 p.
- Van Wagner, C.E. 1982. *Practical aspects of the line intersect method.* Canadian Forestry Service, Petawawa National Forestry Institute, Chalk River, Ont. Information Report PI-X-12.
- Verplanke, J.J. y E. Zahabu, Eds. 2009: *A Field Guide for Assessing and Monitoring Reduced Forest Degradation and Carbon Sequestration by Local Communities.* 93 p.
- Victoria-Hernández, A., M. Niño-Alcocer, J.A. Rodríguez-Ávalos y J.A. Argumedo-Espinoza. s/f. *Generación de información de Usos del suelo y vegetación, proyectos y escala 1: 250,000.* México, DF.
- Villafuerte, D., M.C. García y S. Meza. 1997. *La cuestión ganadera y la deforestación: viejos y nuevos problemas en el Trópico y Chiapas.* Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez.
- Villers, L. y I. Trejo. 1998. El impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia* 23: 10-19.
- Walkley, A. y I. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 34: 29-38.

- Walker, W., A. Baccini, M. Nepstad, N. Horning, D. Knight, E. Braun, y A. Bausch. 2011. Guía de Campo para la Estimación de Biomasa y Carbono Forestal. Versión 1.0. Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA.
- White, P.S., y S.P. Bratton. 1980. After preservation: Philosophical and practical problems of change. *Biological Conservation* 18: 241-255.
- White, P.S., y A. Jentsch (eds.). 2001. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. *Progress in Botany* 62: 399-450.
- Wu, J. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Q Rev Biol* 70:439–466

7. ANEXOS

Anexo 1.- Formato de encuesta aplicada.



“Encuesta para identificación de efectos humanos sobre ecosistemas”

Nombre del entrevistado: _____ Edad: _____

Comunidad: _____

Cargo en la comunidad: _____

Datos de la comunidad:

Nombre: _____

Fecha de fundación: _____

Procedencia de fundadores: _____

Niveles escolares presentes: Kínder: ____ Primaria: ____ Secundaria: ____

Preparatoria: _____ Universidad: _____

Aspecto social:

Número de habitantes: _____ Hombres: _____ Mujeres: _____

Forma de cocinar alimentos: Gas: _____ Fogón: _____ Electricidad: _____

Consumo de leña diario: _____ leños

Distancia a donde obtienen la leña:

- a) de 0 a 100 m b) de 101 a 300 m c) de 301 a 500 m d) más de 500 m

Aspecto económico:

Actividades productivas desarrolladas: anteriormente _____

Actualmente _____



Número de ha, tiempo e importancia dedicadas a cada una de ellas (familia en conjunto):

Actividad	Has	Horas*	Importancia
Maíz			
Frijol			
Café			
Palma			
Vacas			
Borregos			
Gallinas			
Puercos			
Caballos			
Otras			

*Puede ser mayo a 24 hr.

Aspecto ambiental:

Temperatura (meses): Calor _____ Frio: _____

Precipitación (meses): _____

Tipo(s) de Vegetación _____

Topografía de los terrenos:

Planos: _____ Lomerío: _____ Valles: _____ Laderas: _____

Colores del suelo: _____

Existencia de cuerpos de agua: Ríos: _____ Arroyos: _____ Lagos: _____
Jagüeyes: _____

Usos de los cuerpos de agua: _____

Existencia de árboles en sus terrenos:

Árboles	Usos	Existencias*



*Muchos (m), pocos (p), nulos (n).

Presencia de deslaves en los terrenos: Si No
 ¿Por qué?: a) No hay árboles b) Tierra suelta c) Mucha pendiente e) Caminos

¿Presencia de incendios forestales? Sí No
 ¿Por qué? a) Para renovar pastos b) Para abrir terrenos c) Para combatir plagas
 d) Para combatir enfermedades e) Por rencillas d) Para leña

¿Efectos? a) Erosión b) Nuevas plantas c) Muerte de árboles d) Plagas

¿Qué aprovechan del monte?

	Época	Cantidad
Leña		
Plantas medicinales		
Plantas comestibles		
Flores		
Hongos		
Animales		
Agua		
Otros		
Otros		
Otros		

Anexo 2.- Formato para levantamiento de datos de campo del inventario forestal.



INVENTARIO FORESTAL Y DE COMBUSTIBLES

FORMATO DE BOSQUES

A. INFORMACIÓN DEL CONGLOMERADO

1. No. de conglomerado: _____ 2. Fecha: _____ 3. Predio: _____
4. Tenencia: _____ 5. Responsable: _____

6.- Croquis de ubicación:

Contacto Nombre/Fecha: _____	Tipo de contacto: Personal _____ Teléfono _____ Otro: _____
Propietario: _____	Comentarios: _____
Dirección y teléfono: _____	_____

INVENTARIO FORESTAL Y DE COMBUSTIBLES

Núm. de conglomerado _____

B. CARACTERÍSTICAS DEL CONGLOMERADO

- 1.- Altitud: _____ MSNM 2.- Pendiente: _____ %
- 3.- Fisiografía: Valle 1 Terraza 2 Planicie 3 Barranca 4
 Meseta 5 Ladera 6 Lomerío 7 Bajo 8
- 4.- Exposición*: *Poner una X sobre la condición aplicable al conglomerado.
 Z 1 N 2 S 3 E 4 O 5 NE 6 SE 7 NO 8 SO 9

C. DIVERSIDAD DE ESPECIES POR ESTRATO

Estrato	Especie dominante	Especies codominantes	Número de especies
Arbóreo			
Arbustivo			
Herbáceo			

D. IMPACTOS AMBIENTALES ACTUALES

Causa de daño	Recurso			Observaciones
	Vegetación*	Suelo *	Agua*	
Incendios				
Huracanes				
Inundaciones				
Apertura de caminos				
Aprovechamientos forestales				
Cambio de uso del suelo				
Pastoreo				
Plagas y enfermedades				
Líneas eléctricas				
Actividades mineras				
Asentamientos humanos				

* 1 No perceptible 2 Menor 3 Mediana 4 Mayor

Información complementaria sobre incendios

- Evidencia de incendios: Si ___ No ___ En caso Afirmativo: Año actual ___ Años anteriores ___
- Vegetación y porcentaje del conglomerado afectado: Arbórea Arbustiva Herbácea
- Tipo de incendio: Subterráneo Superficial Aéreo o de copa
- Porcentaje de copa quemado en árboles adultos _____ %
- Regeneración después del incendio: Si ___ No ___

2/7

Extraído y adaptado del Manual y Procedimientos para el muestreo de campo. Re-muestreo 2010. Inventario Nacional Forestal y de Suelo. Comisión Nacional Forestal.



INVENTARIO FORESTAL Y DE COMBUSTIBLES

Núm. de conglomerado _____

INFORMACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO E. UBICACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO

1. Sitio No **1 2 3 4**

2. Tipo de Vegetación: _____

3. Coordenadas GPS del sitio. ¿Se obtuvo señal en el sitio No. 1? Si: _____ No: _____ Azimut: _____ Distancia: _____

	Latitud			Longitud			Información complementaria		
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	a.-Datum	b.- No. de WPT (S 1)	c.- Error precisión
Coord. de sitio							NAD 27		____ m ____ PDOP
Coord. de apoyo							NAD 27		____ m ____ PDOP

F. REGISTRO DE VEGETACION MENOR Y COBERTURA DEL SUELO (Sitio de 1m²)

Vegetación Menor	Cobertura	Cubierta del suelo	Cobertura
Gramíneas	%	Roca	%
Helechos	%	Suelo desnudo	%
Musgos	%	Hojarasca	%
Líquenes	%	Gravas y piedras	%
Hierbas	%	Otros	%
Cada categoría puede alcanzar 100%		El total debe sumar 100%	

G. REGISTRO DE REPOBLADO (Sitio de 12.56m²)

1 Género*	2 Frecuencia y edades de repoblado						3 Vigor	4 Daño	5 (%) Daño
	Altura (m)								
	0.25 – 1.50		1.51 – 2.75		> 2.75				
	Frecuencia	Edad	Frecuencia	Edad	Frecuencia	Edad			

* En caso de conocerse la especie, se anota.

* En caso necesario usar más de una hoja.

H. COBERTURA (Sitio de 12.56m²)

Vegetación	Cobertura
Renuevo	%
Arbustos	%
Hierbas	%
Cada categoría puede alcanzar 100%	

3/7

Extraído y adaptado del Manual y Procedimientos para el muestreo de campo. Re-muestreo 2010. Inventario Nacional Forestal y de Suelo. Comisión Nacional Forestal.

INVENTARIO FORESTAL Y DE COMBUSTIBLES

Sitio No: 1 2 3 4 Núm. de conglomerado _____
 Pendiente estimada por cuadrante: C1 % C2 % C3 % C4 %

I. DATOS DEL ARBOLADO (Sitio de 400m²)

1 No. de árbol	2 Género y especie	3 Nombre común	4 Condi ción	5 (cm) Diámetro normal	6 (m) Diámetr o de copa	7 (m) Altur a total	8 (m) Altura fuste limpio	9 Vigor	10 Daño
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									
19.									
20.									
21.									
22.									
23.									
24.									
25.									
26.									
27.									
28.									
29.									
30.									
31.									
32.									
33.									
34.									
35.									
36.									
37.									
38.									

* 1. Vivo, 2. Muerto en pie (Gen. y Nom. común si se conoce; Diám. normal y altura total), 3. Tocón con marca (Gen. y Nom. común si se conoce) o 4. Tocón sin marca

INVENTARIO FORESTAL Y DE COMBUSTIBLES

Sitio No: 1 2 3 4

Núm. de conglomerado _____

1 No. de árbol	2 Género y especie	3 Nombre común	4 * Condición	5 (cm) Diámetro normal	6 (m) Diámetro de copa	7 (m) Altura total	8 (m) Altura fuste limpio	9 Vigor	10 Daño
39.									
40.									
41.									
42.									
43.									
44.									
45.									
46.									
47.									
48.									
49.									
50.									
51.									
52.									
53.									
54.									
55.									
56.									
57.									
58.									
59.									
60.									
61.									
62.									
63.									
64.									
65.									
66.									
67.									
68.									
69.									
70.									
71.									
72.									
73.									
74.									
75.									
76.									
77.									

* 1. Vivo, 2. Muerto en pie (Gen. y Nom. común si se conoce; Diám. normal y altura total), 3. Tócon con marca (Gen. y Nom. común si se conoce) o 4. Tócon sin marca

J. TRANSECTOS DE COMBUSTIBLES FORESTALES

1. Sitio No 1 2 3 4

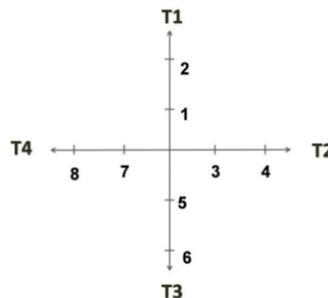
1. Altura por forma biológica

1.1 Altura de arbustos (cm)	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4
5 metros				
10 metros				

1.2 Altura de pastos (cm)	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4
5 metros				
10 metros				

1.3 Altura de hierbas (cm)	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4
5 metros				
10 metros				

1.4 Otras (cm)	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4
5 metros				
10 metros				



2. Combustibles leñosos caídos 1, 10, 100 y 1000 hrs

2.1 Transecto	2.2 % pendiente	2.3 10-15 m 1 hr	2.4 10-15 m 10 hrs	2.5 0-15 m 100 hrs
1				
2				
3				
4				

2.6. Combustibles de 1000 hrs 0 -15 m							
2.7. Transecto 1	Transecto 2		Transecto 3		Transecto 4		
2.8 Diam	2.9. Grado	Diam	Grado	Diam	Grado	Diam	Grado

2.6. Combustibles de 1000 hrs 0 -15 m							
2.7. Transecto 1	Transecto 2		Transecto 3		Transecto 4		
2.8 Diam	2.9. Grado	Diam	Grado	Diam	Grado	Diam	Grado

3. Cobertura de Dosel

3.1. Punto	3.2. Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

3.1. Punto	3.2. Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

**Marcar 1 si existe cobertura y 0 si no la hay



INVENTARIO FORESTAL Y DE COMBUSTIBLES

Sitio No.: 1 2 3 4

Núm. de conglomerado _____

K. CAPAS DE HOJARASCA (HO) Y FERMENTACIÓN (F)

Punto	Tipo	Espesor (mm)		Peso total de la capa (gr)		Peso de la muestra (gr)		Observaciones
		HO	F	HO	F	HO	F	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Observaciones al Conglomerado:

Anexo 3.- Registro de especies identificadas por ecosistema muestreado en Villaflores, Chiapas.

Tipo de vegetación	Nombre común	Nombre científico
Bosque mesófilo	Baqueta	<i>Chaetoptelea mexicana</i>
	Capulín	<i>Muntingia calabura</i>
	Chalum	<i>Inga micheliana</i>
	Coyol de toro	<i>Stemmadenia donnell</i>
	Duraznillo	<i>Saurauia kegeliana</i>
	Duraznillo blanco	<i>Sin identificación</i>
	Encino	<i>Quercus sp</i>
	Encino blanco	<i>Quercus peduncularis</i>
	Encino colorado	<i>Quercus sp</i>
	Hoja ancha	<i>Flourensia laurifolia</i>
	Hoja de montaña	<i>Wimmeria bartletii</i>
	Laurel	<i>Litsea glaucescens</i>
	Laurel blanco	<i>Sin identificación</i>
	Laurel cimarrón	<i>Sin identificación</i>
	Laurelillo	<i>Compsonera sprucei</i>
	Liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
	Matabuey	<i>Lonchocarpus rugosus</i>
	Matapalo	<i>Ficus involuta</i>
	Palo colorado	<i>Clethra matudai</i>
	Palo de Hierro	<i>Olneya tesota</i>
	Palo higo	<i>Ficus cookii</i>
	Palo hueso	<i>Erythroxylon areolatum</i>
	Palo laurelillo	<i>Sin identificación</i>
	Palo Sierra	<i>Sin identificación</i>
	Roble encino	<i>Quercus sp</i>
	Roble encino blanco	<i>Quercus peduncularis</i>
Roble montaña	<i>Quercus sp</i>	
Tabaquillo	<i>Lippia hypoleia</i>	
Tabaquillo de montaña	<i>Sin identificación</i>	
Zapotillo	<i>Couepia polyandra</i>	
Zapotillo cimarrón	<i>Sin identificación</i>	
Bosque pino	Pino	<i>Pinus sp</i>
Selva baja	Anona	<i>Annona reticulata</i>
	Canasto/canastilla	<i>Randia armata</i>
	Cascabillo	<i>Luehea candida</i>
	Casco de venado	<i>Bauhinia unguolata</i>
	Caseto	<i>Sin identificación</i>
	Caulote	<i>Guazuma tomentosa</i>

Copal	<i>Bursera excelsa</i>
Copalchi	<i>Croton guatemalensis</i>
Coyol de cochi	<i>Stemmadenia mollis</i>
Escanal/ ischcanal	<i>Acacia collinsii</i>
Espino	<i>Acacia milleriana</i>
Guanacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Hormiguillo	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>
Huevo de toro	<i>Stemmadenia donnell</i>
Jobo	<i>Spondia mombin</i>
Laurel cimarrón	<i>Sin identificación</i>
Maluco	<i>Genipa americana</i>
Matiliguey	<i>Tabebuia pentaphylla</i>
Mulato	<i>Triplaris malaenodendron</i>
Namo	<i>Heliocarpus reticulatus</i>
Nopal	<i>Sin identificación</i>
Papa	<i>Sin identificación</i>
Papelillo	<i>Bursera instabilis</i>
Pochota	<i>Ceiba aesculifolia</i>
Pompachuti	<i>Cochlospermun vitifolium</i>
Ponposhut	<i>Cochlospermun vitifolium</i>
Primavera	<i>Cybistax donnell</i>
Quebracho	<i>Acacia millenariana</i>
Taray	<i>Eysenhardtia adenostylis</i>
Bejuco	<i>Sin identificación</i>
