



PROPUESTA DEL NIVEL DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES FORESTALES DE MÉXICO



Contenido

	Pág.
Acrónimos.....	4
1. Introducción.....	6
2. Antecedentes y justificación.....	6
a) Marco Nacional.....	6
b) Descripción de la cobertura de tierras forestales.....	7
3. Información usada.....	8
a) Series de Uso de Suelo y Vegetación INEGI.....	9
b) Inventario Nacional Forestal y de Suelos de CONAFOR.....	9
4. Métodos de estimación.....	10
a) Datos de actividad (representación coherente de las tierras).....	10
b) Factores de emisión.....	16
c) Propagación de incertidumbres.....	23
Combinación de incertidumbres a nivel clase en la transición por deforestación.....	24
Propagación de incertidumbres de las variaciones a nivel de transición para deforestación.....	25
d) Incendios Forestales.....	26
Área quemada por incendios (A).....	27
Masa de combustible disponible (B).....	30
Factores de Consumo o proporción de biomasa consumida (C).....	33
Factores de Emisión (D).....	35
5. Actividades, Depósitos y Gases.....	35
a) Actividades.....	35
b) Depósitos.....	36
c) Gases.....	37
Emisiones por deforestación.....	37

Emisiones por incendios forestales.....	37
Emisiones totales	38
6. Definición de Bosque.....	38
7. Nivel de Referencia de Emisiones	39
a) Definición del Nivel Nacional de Referencia de las Emisiones Forestales.	39
b) Nivel Nacional de Referencia de las Emisiones Forestales.....	40
8. Mejoras metodológicas en el corto plazo.....	41
a) Sistema Satelital de Monitoreo de la Cobertura Forestal (MAD-Mex).....	41
b) Inventario Nacional Forestal y de Suelos.	42
9. Referencias	42
10. Anexos	47
a) Degradación	47

Acrónimos.

BUR: Reporte Bienal de Actualización (por sus siglas en Inglés).

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, sus siglas en Inglés).

CTC: Consejo Técnico Consultivo.

CONAF: Consejo Nacional Forestal.

CONAFOR: Comisión Nacional Forestal.

DA: Datos de Actividad.

ENA-REDD+: Estrategia Nacional REDD+.

ENCC: Estrategia Nacional de Cambio Climático.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FE: Factores de Emisión.

FRA: Evaluación de los Recursos Forestales (por sus siglas en Inglés).

CCC: Clase de Condición de Combustible.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GT: Grupos de Trabajo.

INECC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

INEGEI: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INFyS: Inventario Nacional Forestal y de Suelos.

LGCC: Ley General de Cambio Climático.

LGDFS: Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

MRV: Sistema de Medición, Reporte y Verificación.

MSNM: Metros Sobre el Nivel del Mar.

NNREF: Nivel Nacional de Referencia de las Emisiones Forestales.

IPCC: Siglas en Inglés para Panel intergubernamental de Cambio Climático.

USCUSS: Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura.

REDD+: Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal, así como la Conservación y el Incremento de las Reservas Forestales de Carbono, y el Manejo Sustentable de los Bosques.

UMP: Unidades de Muestreo Primarias.

UMS: Unidades de Muestreo Secundarias.

1. Introducción.

En respuesta a la invitación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), México presenta, de manera voluntaria, una propuesta de Nivel Nacional de Referencia de las Emisiones Forestales de acuerdo con la decisión 1/CP.16, párrafo 71(b), como parte de la adopción de las medidas mencionadas en el párrafo 70 de la misma decisión (CMNUCC, 2011), para la evaluación técnica, de acuerdo con los lineamientos y procedimientos adoptados en la decisión 13/CP.19 (CMNUCC, 2014), donde el Nivel Nacional de Referencia de las Emisiones Forestales (NNREF) puede ser evaluado técnicamente en el contexto de pagos basados en resultados.

La misma fue preparada siguiendo los lineamientos para presentación de información sobre Niveles de Referencia y/o Niveles de Emisiones de Referencia señalados en el anexo de la decisión 12/CP.17 (CMNUCC, 2012). La información proporcionada está acorde con las orientaciones y lineamientos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en Inglés), e incluye:

- (a) La información que fue utilizada para elaborar el NNREF;
- (b) La información transparente, completa, coherente y exacta, incluida la información metodológica, que se utilizó al elaborar el NNREF;
- (c) Los reservorios, gases y las actividades enumeradas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16, que se incluyeron en el NNREF;
- (d) La definición de bosque utilizada al elaborar el NNREF.

2. Antecedentes y justificación.

a) Marco Nacional.

México tiene un marco legal sólido, que incluye la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Diario Oficial de la Federación. DOF, 2003) y la Ley General de Cambio Climático (DOF, 2012), las cuales proporcionan herramientas novedosas y estructuras para alcanzar los objetivos de cambio climático, incluyendo aquellos relevantes para REDD+.

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) publicada en junio de 2012, constituye el principal instrumento jurídico que establece las bases en la implementación de los mecanismos que regularán las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático a largo plazo en el país.

En cuanto al tema de mitigación, la LGCC prevé que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) deberá diseñar estrategias, políticas, medidas y acciones para transitar a una tasa de cero por ciento de pérdida de Carbono en los ecosistemas originales, para su incorporación en los instrumentos de planeación de la política forestal para el desarrollo sustentable, tomando en consideración el desarrollo sustentable y el manejo forestal comunitario¹.

Como instrumento de planeación, la LGCC ordena la preparación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), la cual proporciona una hoja de ruta a la política nacional a mediano y largo plazo para combatir los efectos del cambio climático y avanzar hacia una economía baja en Carbono, sostenible y competitiva (DOF, 2013). Además establece una visión a 40 años y objetivos a ser logrados cada 10 años.

La ENCC propone como primera medida de mitigación, la promoción de mejores prácticas agrícolas y forestales para incrementar y mantener los almacenes naturales de Carbono a través del diseño e implementación de planes, programas y políticas orientadas a reducir la deforestación y degradación de los bosques y selvas, establecidas en una estrategia REDD+.

b) Descripción de la cobertura de tierras forestales.

México tiene una extensión territorial de 1'964,375 kilómetros cuadrados (km²), con una superficie continental de 1'959,248 km² y una insular de 5,127 km² ². De acuerdo a la CONAFOR (2014), alrededor del 45% de la superficie forestal del país pertenece a ejidos y comunidades.

México es considerado un país megadiverso, ya que se encuentra entre los 12 países que poseen el 70% de la biodiversidad total del planeta.

A continuación se presenta una descripción de los diferentes ecosistemas vegetales agrupados de acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Rzedowski (1978). La base de esta agrupación es de acuerdo a las afinidades ecológicas de los diferentes tipos de vegetación (INEGI 2009) que se incluyen en el NNREF:

- Bosque de coníferas: formaciones vegetales de zonas templadas, húmedas y subhúmedas constituidas por gimnospermas de hojas perennes. En México se les encuentra prácticamente desde el nivel del mar hasta el límite de la vegetación arbórea (3,000 msnm).

¹ Artículo Tercero Transitorio de la LGCC

² www.inegi.org.mx

- Bosque de encino: comunidades vegetales constituidas por el género *Quercus* (encinos, robles) que en México, salvo condiciones muy áridas se encuentran prácticamente desde el nivel del mar, hasta los 2,800 msnm. Se encuentra muy relacionado con los bosques de pino, formando una serie de bosques mixtos con especies de ambos géneros.
- Bosque mesófilo de montaña: este ecosistema vegetal se caracteriza por la presencia de vegetación arbórea densa, con epífitas y helechos que se localiza principalmente en montañas, barrancas y sitios que presentan condiciones favorables de humedad y neblinas frecuentes. En México se localiza entre los 600 y 3,200 msnm.
- Selva perennifolia: agrupa formaciones vegetales tropicales que se caracterizan porque más del 75% de sus elementos conservan las hojas durante la época más seca del año.
- Selva subcaducifolia: formaciones vegetales, en donde el 50 y el 75% de sus componentes pierden las hojas en la época más seca del año.
- Selva caducifolia: estas formaciones vegetales de origen tropical y árido se caracterizan porque más del 75% de las especies que las integran pierden sus hojas en la época seca del año.
- Pastizal: estos ecosistemas están constituidos por comunidades herbáceas en las que predominan las gramíneas y las graminoides, en algunos casos son de origen natural, pero en otros, obedece a condiciones de perturbación por sobrepastoreo.
- Matorral Xerófilo: este ecosistema vegetal es propio de las zonas áridas y semiáridas de México y está constituida básicamente por comunidades arbustivas micrófilas y espinosas.
- Vegetación hidrófila: este ecosistema está constituido básicamente por comunidades vegetales que habitan en terrenos pantanosos e inundables de aguas salobres o dulces poco profundas.
- Bosque cultivado: se considera en este grupo aquellas poblaciones que no son autóctonas y que ha sido introducida por el hombre por diferentes causas (por ejemplo, plantaciones).

3. Información usada.

Para la construcción del presente NNREF se ha usado la información oficial, que consta de dos insumos principales, las Series de Uso de Suelo y Vegetación generadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1996, 2005, 2010 y 2013) y el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) generado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2012).

a) Series de Uso de Suelo y Vegetación INEGI.

El INEGI es el encargado de proveer las estadísticas oficiales a nivel nacional, la cartografía y elabora las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación³, las cuales muestran la distribución de la vegetación natural e inducida; se representan los diferentes tipos de vegetación y las áreas de uso agrícola, pecuario y forestal. Incluyen información puntual sobre especies botánicas representativas de la cubierta vegetal y permiten conocer el estado de la vegetación en la totalidad del territorio nacional. Esta herramienta se genera a escala 1:250,000, con una escala mínima mapeable de 50 hectáreas. A la fecha se han generado 5 Series⁴, cuyas características se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales características de las Series INEGI.

	SERIE II	SERIE III	SERIE IV	SERIE V
Fecha de referencia editorial	90's	2002-2005	2007-2010	2011-2014
Fecha de datos de campo	1993 -1998	2002-2003	2007-2008	2012-2013
Escala	1:250,000	1:250,000	1:250,000	1:250,000
Resolución	Pixel de 50m de origen, interpretación sobre imagen impresa escala 1:250,000	Pixel de 27.5 m	Pixel de 10m	Pixel de 27.5 m
Datos	Espacio mapas impresos	LANDSAT TM (30 m)	SPOT 5 (10 m)	LANDSAT TM (30 m)
Metodología	Tecnología analógica	Tecnología digital	Tecnología digital	Tecnología digital
Información	5 capas	14 capas	13 capas	14 capas

b) Inventario Nacional Forestal y de Suelos de CONAFOR.

CONAFOR genera como parte de los instrumentos para la gestión forestal el INFyS, el cual existe por mandato de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS).

El INFyS, que es el principal insumo para las estimaciones en algunas categorías de uso de la tierra principalmente en la parte forestal, está constituido por 26,220 parcelas distribuidas de manera sistemática a lo largo del país (Figura 1) a espaciamientos de 5x5 km en bosques y selvas, a 10x10 km en comunidades

³ Declarada información de Interés Nacional mediante Acuerdo publicado en el DOF. (http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5324032&fecha=02/12/2013)

⁴ No se analizó la Serie I debido a que las clases no son totalmente compatibles con las series subsecuentes.

semiáridas y a 20x20 km en comunidades áridas. Cada parcela está conformada por cuatro sub-parcelas de 0.04 ha de superficie que es el área donde se recolecta la información dasométrica levantada en campo (CONAFOR, 2012).

En INFyS tiene un ciclo de cinco años para el levantamiento de la información de campo, y se han concluido dos ciclos hasta el momento, el primero entre los años 2004-2007 y el segundo del 2009-2013.

De esta manera, para el muestreo y re-muestreo del INFyS se tiene disponible a nivel de sub-parcela la información referente a las mediciones dasométricas de todos los árboles.

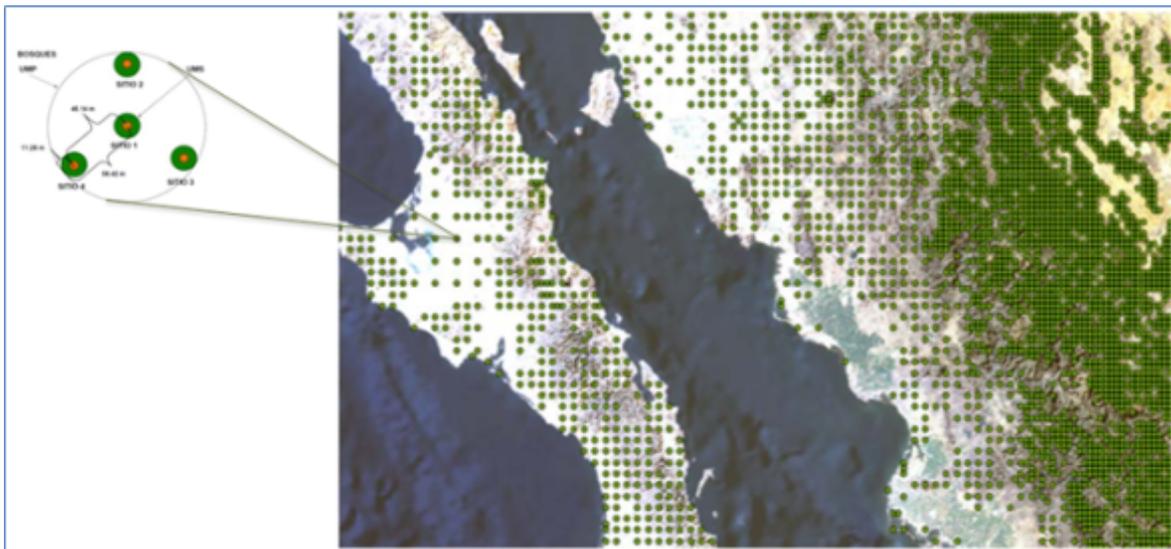


Figura 1. Conformación de las parcelas y subparcelas y distribución sistemática del INFyS.

4. Métodos de estimación

a) Datos de actividad (representación coherente de las tierras).

Para la homologación de las clases de cobertura vegetal del país con las categorías IPCC (2003) se utilizó la clasificación y estructura jerárquica de la cartografía de INEGI como guía principal. (INEGI, 2009).

De manera consistente con el inventario incluido en el Reporte Bienal de Actualización (BUR) de actualización (INECC-CONAFOR, 2014) que se entregará a la CMNUCC, la propuesta de agrupación para el sector Uso del Suelo, Cambio del Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) incluye 19 grupos en tierras forestales, 6 en praderas, 2 en

tierras agrícolas, 1 en humedales, 1 en asentamientos y 1 en Otras tierras. En la Figura 2. se pueden ver de manera gráfica como fueron agrupadas la totalidad de las clases de las Series INEGI en las categorías del IPCC.



Figura 2. Representación gráfica de las series INEGI agrupadas en las categorías IPCC.

Los criterios utilizados para definir los grupos y tipos de vegetación⁵ a las categorías de tierras forestales que se emplearon en este informe para la estimación de deforestación bruta son:

- Grupo de vegetación (INEGI), la cual se refiere a un nivel jerárquico superior a los tipos de vegetación y tipos de agroecosistemas.
- Etapa (primaria y secundaria)
- Fase de desarrollo (arbórea, arbustiva y herbácea) del INEGI.
- Separación de los grupos de vegetación (*sensu* INEGI) en subcategorías que agrupen los tipos de vegetación que corresponden a una dominancia de elementos leñosos (arbórea y arbustiva) y no leñosos (herbácea) en sus diferentes fases de desarrollo (IPCC-INEGI).
- Criterios de IPCC (IPCC, 2003) para las categorías de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS).

⁵ Se consideró la descripción de la Guía de Interpretación de la Cartografía del Uso del Suelo y la Vegetación (INEGI, 2009).

La categoría de tierras forestales comprende toda la tierra con vegetación leñosa coherente con umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), subdivididas a nivel nacional, en cultivadas y no cultivadas, y también por tipos de ecosistema, según se especifica en las directrices del IPCC. También comprende sistemas con vegetación actualmente inferior al umbral de la categoría de tierras forestales, incluyendo cualquier tierra con capacidad ecológica de alcanzar el umbral. En el Cuadro 2 se muestran las categorías que se incluyen en tierras forestales.

Cuadro 2. Grupos de vegetación y etapa de desarrollo con sus respectivos tipos de vegetación de INEGI incluidos en la categoría de Tierras Forestales del IPCC.

Propuesta de grupo vegetal (INEGI-IPCC)	Tipo de vegetación (INEGI)
Bosque de Coníferas (Primario y vegetación secundaria arbórea)	Bosque de Oyamel Primario, Bosque de Oyamel Secundario Arbóreo, Bosque de Cedro Primario, Bosque de Cedro Secundario Arbóreo, Bosque de Tascate Primario, Bosque de Tascate Secundario Arbóreo, Bosque de Pino Primario, Bosque de Pino Secundario Arbóreo, Bosque de Pino-Encino Primario, Bosque de Pino-Encino Secundario Arbóreo, Bosque de Ayarin Primario, Bosque de Ayarin Secundario Arbóreo, Matorral de Coníferas Primario
Bosque de Coníferas Secundario (secundario arbustivo herbáceo) y	Bosque de Oyamel Secundario Arbustivo, Bosque de Oyamel Secundario Herbáceo, Bosque de Cedro Secundario Arbustivo, Bosque de Cedro Secundario Herbáceo, Bosque de Tascate Secundario Arbustivo, Bosque de Tascate Secundario Herbáceo, Bosque de Pino Secundario Arbustivo, Bosque de Pino Secundario Herbáceo, Bosque de Pino-Encino Secundario Arbustivo, Bosque de Pino-Encino Secundario Herbáceo, Bosque de Ayarin Secundario Arbustivo, Bosque de Ayarin Secundario Herbáceo, Matorral de Coníferas Secundario Arbustivo, Matorral de Coníferas Secundario Herbáceo
Bosque de Encino Primario	Bosque de Encino Primario, Bosque de Encino Secundario Arbóreo, Bosque de Encino-Pino Primario, Bosque de Encino-Pino Secundario Arbóreo
Bosque de Encino Secundario	Bosque de Encino Secundario Herbáceo, Bosque de Encino Secundario Arbustivo, Bosque de Encino-Pino Secundario Arbustivo, Bosque de Encino-Pino Secundario Herbáceo
Bosque Mesófilo de Montaña Primario	Bosque Mesófilo de Montaña Primario, Bosque Mesófilo de Montaña Secundario Arbóreo
Bosque Mesófilo de Montaña Secundario	Bosque Mesófilo de Montaña Secundario Arbustivo, Bosque Mesófilo de Montaña Secundario Herbáceo
Selva Perennifolia Primaria	Selva Alta Perennifolia Primaria, Selva Alta Perennifolia Secundaria Arbórea, Selva Alta Subperennifolia Primaria, Selva Alta Subperennifolia Secundaria Arbórea Selva Baja Perennifolia Primaria, Selva Baja Perennifolia Secundaria Arbórea, Selva Baja Espinosa Subperennifolia Primaria, Selva Baja Espinosa Subperennifolia Secundaria Arbórea Selva Baja Subperennifolia Primaria, Selva Baja Subperennifolia Secundaria Arbórea Selva Mediana Perennifolia Primaria, Selva Mediana Perennifolia Secundaria Arbórea Selva Mediana Subperennifolia Primaria, Selva Mediana Subperennifolia Secundaria Arbórea
Selva Perennifolia Secundaria	Selva Alta Perennifolia Secundaria Arbustiva, Selva Alta Perennifolia Secundaria Herbácea Selva Alta Subperennifolia Secundaria Arbustiva, Selva Alta Subperennifolia Secundaria Herbácea, Selva Baja Perennifolia Secundaria Arbustiva, Selva Baja Perennifolia Secundario Herbáceo, Selva Baja Espinosa Subperennifolia Secundaria Arbustiva, Selva Baja Espinosa Subperennifolia Secundario Herbáceo, Selva Baja Subperennifolia Secundaria Arbustiva, Selva Baja Subperennifolia Secundario Herbáceo, Selva Mediana Perennifolia Secundaria Arbustiva, Selva Mediana Perennifolia Secundario Herbáceo, Selva Mediana Subperennifolia Secundaria Arbustiva, Selva Mediana Subperennifolia Secundario Herbáceo
Selva Subcaducifolia Primaria	Selva Baja Subcaducifolia Primaria, Selva Baja Subcaducifolia Secundaria Arbórea, Selva Mediana Subcaducifolia Primaria, Selva Mediana Subcaducifolia Secundaria Arbórea

Selva Subcaducifolia Secundaria	Selva Baja Subcaducifolia Secundaria Arbustiva, Selva Baja Subcaducifolia Secundario Herbáceo, Selva Mediana Subcaducifolia Secundaria Arbustiva, Selva Mediana Subcaducifolia Secundario Herbáceo
Selva Caducifolia Primaria	Matorral Subtropical Primario, Selva Baja Caducifolia Primaria, Selva Baja Caducifolia Secundaria Arbórea, Selva Baja Espinosa Caducifolia Primaria, Selva Baja Espinosa Caducifolia Secundaria Arbórea, Selva Mediana Caducifolia Primaria, Selva Mediana Caducifolia Secundaria Arbórea, Mezquital Tropical Primario, Mezquital Tropical Secundario Arbóreo
Selva Caducifolia Secundaria	Selva Baja Caducifolia Secundaria Arbustiva, Selva Baja Caducifolia Secundaria Herbácea, Selva Baja Espinosa Caducifolia Secundaria Arbustiva, Selva Baja Espinosa Caducifolia Secundario Herbáceo, Selva Mediana Caducifolia Secundaria Arbustiva, Selva Mediana Caducifolia Secundario Herbáceo, Mezquital Tropical Secundario Arbustivo, Mezquital Tropical Secundario Herbáceo, Matorral Subtropical Secundario Arbustivo, Matorral Subtropical Secundario Herbáceo
Matorral Xerófilo Primario	Matorral Crasicaule Primario, Matorral Desértico Microfilo Primario, Matorral Desértico Rosetofilo Primario, Matorral Espinoso Tamaulipeco Primario, Mezquital Xerófilo Primario, Chaparral, Matorral Rosetofilo Costero Primario, Matorral Sarcocaulle Primario, Matorral Sarco-Crasicaule Primario, Matorral Submontano Primario, Matorral Submontano Secundario Arbóreo, Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina Primario
Matorral Xerófilo Secundario	Matorral Crasicaule Secundario Arbustivo, Matorral Crasicaule Secundario Herbáceo, Matorral Desértico Microfilo Secundario Arbustivo, Matorral Desértico Microfilo Secundario Herbáceo, Matorral desértico Rosetofilo Secundario Arbustivo, Matorral desértico Rosetofilo Secundario Herbáceo, Matorral Espinoso Tamaulipeco Secundario Arbustivo, Matorral Espinoso Tamaulipeco Secundario Herbáceo, Mezquital Xerofilo Secundario Arbustivo, Mezquital Xerófilo Secundario Herbáceo, Chaparral Secundario Arbustivo, Matorral Rosetofilo Costero Secundario Arbustivo, Matorral Rosetofilo Costero Secundario Herbáceo, Matorral Sarcocaulle Secundario Arbustivo, Matorral Sarcocaulle Secundario Herbáceo, Matorral Sarco-Crasicaule Secundario Arbustivo, Matorral Sarco-Crasicaule Secundario Herbáceo, Matorral Submontano Secundario Arbustivo, Matorral Submontano Secundario Herbáceo, Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina Secundario Arbustivo, Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina Secundario Herbáceo
Vegetación Hidrófila Primaria	Vegetación de Galería Primario, Bosque de Galería Primario, Bosque de Galería Secundario Arbóreo, Vegetación de Peten* Primario, Vegetación de Peten* Secundario Arbóreo, Selva de Galería Primaria, Selva de Galería Secundaria Arbórea, Manglar Primario, Manglar Secundario Arbóreo
Vegetación Hidrófila Secundaria	Bosque de Galería Secundario Arbustivo, Bosque de Galería Secundario Herbáceo, Vegetación de Peten Secundario Arbustivo, Vegetación de Peten Secundario Herbáceo, Selva de Galería Secundaria Arbustiva, Selva de Galería Secundario Herbáceo, Vegetación de Galería Secundario Arbustivo, Vegetación de Galería Secundario Herbáceo, Manglar Secundario Arbustivo, Manglar Secundario Herbáceo
Especial Otros Tipos Primario	Bosque de Mezquite Primario, Bosque de Mezquite Secundario Arbóreo, Palmar Natural Primario, Palmar Natural Secundario Arbóreo, Bosque Inducido
Especial Otros Tipos Secundario	Bosque de Mezquite Secundario Arbustivo, Bosque de Mezquite Secundario Herbáceo, Palmar Inducido, Palmar Natural Secundario Herbáceo, Palmar Natural Secundario Arbustivo
Bosque Cultivado	Plantación Forestal

La información cartográfica contenida en las cartas de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250,000 en sus Series II, III, IV y V, elaborados por el INEGI, fueron generadas y actualmente se distribuyen en formato vector, donde las unidades de Uso de Suelo y Vegetación están representadas por polígonos.

El proceso para convertir los productos cartográficos de forma analógica a digital que realiza el INEGI impone la necesidad de considerar que los mecanismos de percepción y análisis de información digital difieren de los tradicionales, y aunque pueden ser visualizados en monitores gráficos, su análisis se realiza fundamentalmente por la combinación de métodos de análisis geométrico, estadístico y consulta de bases de datos.

Para el procesamiento de los datos geoespaciales se utilizó el software ArcGIS 10.1[®] (ESRI[®], 2012). Como primer paso se integró la información cartográfica vectorial de las cartas de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250,000 en sus Series II, III, IV y V.

En la base de datos de cada serie, se generaron los campos para asignar las categorías y subcategorías del sistema nacional de tierras aplicable a las seis categorías de USCUS del IPCC. Posteriormente las bases de datos de la información vectorial fueron reestructuradas, dejando sólo la información del sistema nacional de clasificación de tierras aplicable a las seis categorías de USCUS del IPCC. Se unieron espacialmente todas las series, mediante su sobreposición e intersección geométrica mediante el comando UNION en ArcGIS[®].

A partir del análisis de la información en formato vector se determinó que para el formato *raster*, un tamaño de celda de 100 por 100 metros cuadrados (una hectárea) permitiría eliminar los problemas de desfases o desplazamientos entre Series.

Resultando una conversión de formato vector a *raster* utilizando como campo base la agrupación IPCC con tamaño de celda de 100 metros, a partir de la cual se obtuvo la matriz de cambio (Figura 3).

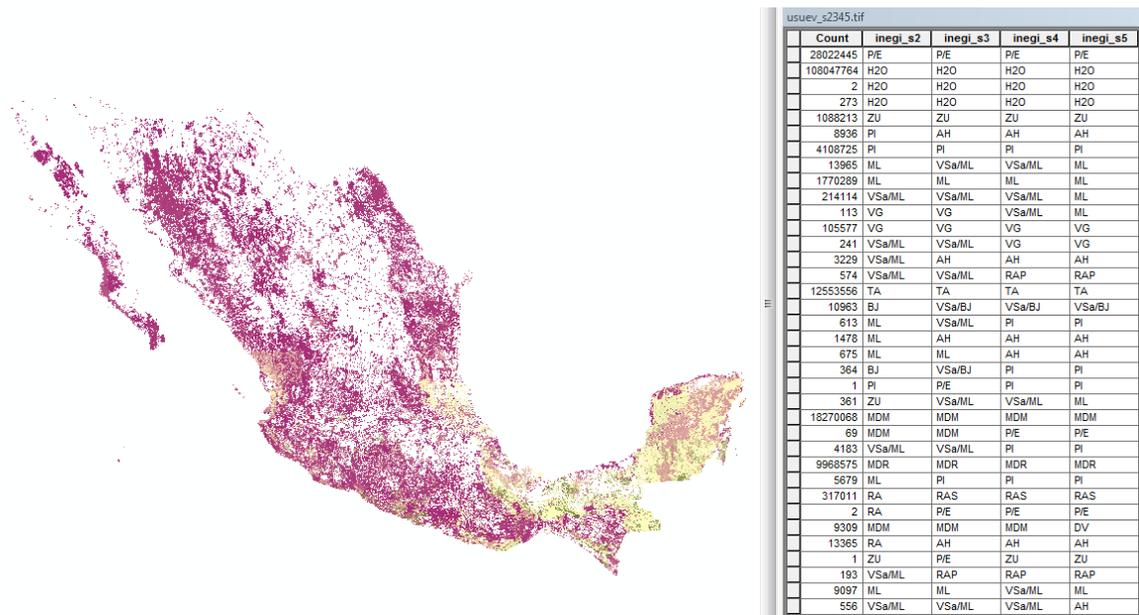


Figura 3. Imagen del archivo raster y tabla de atributos de la combinación de las series 2 a 5.

Los resultados se obtuvieron en tres matrices de cambio, registrando tres períodos de comparación entre Series.

- Periodo 1. Comparación entre Usos de Suelo y Vegetación de las Series II y III

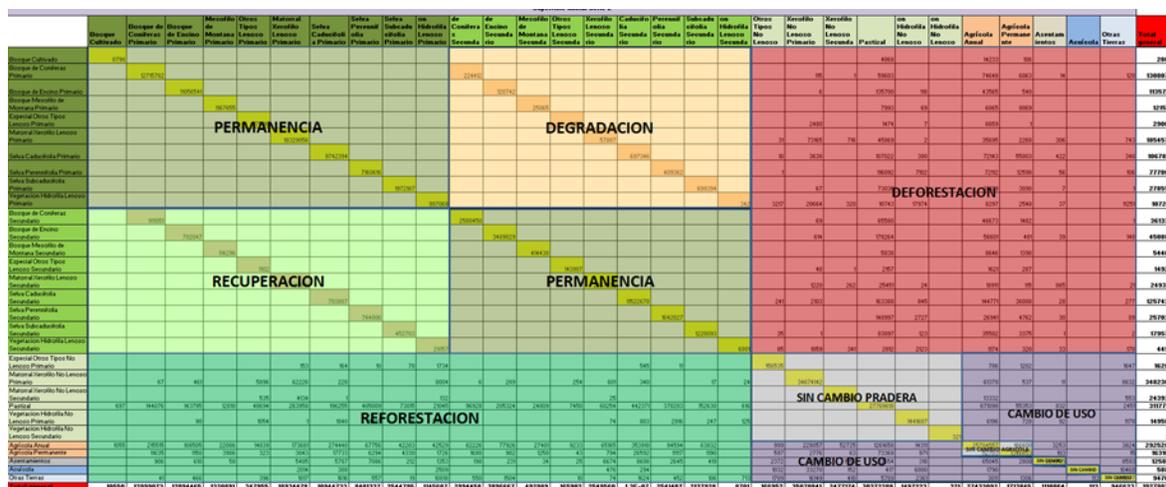
- Periodo 2. Comparación entre Usos de Suelo y Vegetación de las Series III y IV
- Periodo 3. Comparación entre Usos de Suelo y Vegetación de las Series IV y V.

La información tabular resultado de la integración en categorías de reporte para el INEGI, a partir de las Series de USV II, III, IV y V, se exportó a formato MS Excel, ya que dicho formato y aplicación permite generar tablas dinámicas para presentar de forma agregada los cambios de usos de suelo y vegetación entre series.

En la Figura 4, se presenta de forma ilustrativa los valores de superficie de cada categoría asignada, donde se pueden identificar aquellas áreas cuya condición primaria, cambió a una secundaria; registrando una pérdida de Carbono de las tierras forestales. Así mismo, se presentan las diferentes categorías de tierras forestales que cambiaron a tierras no forestales por avance de la frontera agrícola o urbana, registrando procesos de deforestación.

Contrastando con los procesos anteriormente registrados, se presentan áreas cuya condición secundaria ha cambiado a una condición primaria, indicando procesos de recuperación de tierras forestales, así como tierras no forestales con cambios a terrenos forestales en condición primaria o secundaria por procesos de reforestación.

Este arreglo matricial muestra a lo largo de las celdas en su diagonal (color amarillo), las áreas que no registran cambio en su uso.



The matrix displays land use changes between various categories. The diagonal is highlighted in yellow, indicating no change. Key categories include:

- PERMANENCIA** (Green): Areas that remain in the same category.
- DEGRADACION** (Yellow): Areas that have degraded from primary to secondary forest.
- RECUPERACION** (Light Green): Areas that have recovered from secondary to primary forest.
- DEFORESTACION** (Red): Areas that have been converted from forest to non-forest.
- SIN CAMBIO PRADERA** (Grey): Areas with no change in pasture.
- CAMBIO DE USO** (Blue): Areas where the land use has changed.

Figura 4. Ejemplo de matriz de cambio para identificar las diferentes condiciones que se pueden encontrar.

El procedimiento detallado está documentado como parte de la elaboración del INEGI para el BUR (Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, 2014a).

b) Factores de emisión.

El proceso de estimación de los factores de emisión (FE) consistió de tres etapas: la primera fue la obtención de los valores de Carbono de cada uno de los árboles del INFyS; la segunda fue la agrupación de las parcelas del INFyS para las clases definidas como tierras forestales; y la tercera consistió en estimar por separado los FE y sus incertidumbres asociadas al Carbono de la biomasa viva para cada uno de las clases definidas como tierras forestales.

El cálculo del Carbono de la biomasa viva a nivel de árbol se realizó a partir de los registros de tallos de plantas leñosas (árboles y arbustos), colectados durante el muestreo del INFyS realizado en campo entre 2004-2007 (CONAFOR, 2012). En la estimación se usaron los datos dasométricos medidos en 18,780 Unidades de Muestreo Primarias (UMP), las cuales incluyeron 70,868 Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) con datos dasométricos de 1'137,872 registros de plantas leñosas vivas (árboles y arbustos) y 68,300 de plantas leñosas muertas en pie (árboles y arbustos).

Previa a la estimación del Carbono a nivel de árbol, se ejecutó un protocolo de control de calidad a los registros de plantas leñosas (árboles y arbustos) desde dos perspectivas, a) revisión de la nomenclatura de las especies, y b) depuración de la información dasométrica.

Para estimar la biomasa contenida en cada planta leñosa viva se aplicó un algoritmo de asignación de modelos alométricos (Figura 5), el cuál utilizó 83 modelos alométricos (a nivel de especie, género o tipo de vegetación), adecuados para el país en términos ecológicos, estadísticos y espaciales (Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, 2014b). La base de datos de la recopilación de los modelos alométricos que se utiliza para hacer la estimación se puede consultar en <http://www.mrv.mx/index.php/es/mrv-m/areas-de-trabajo/2013-09-17-22-03-45>

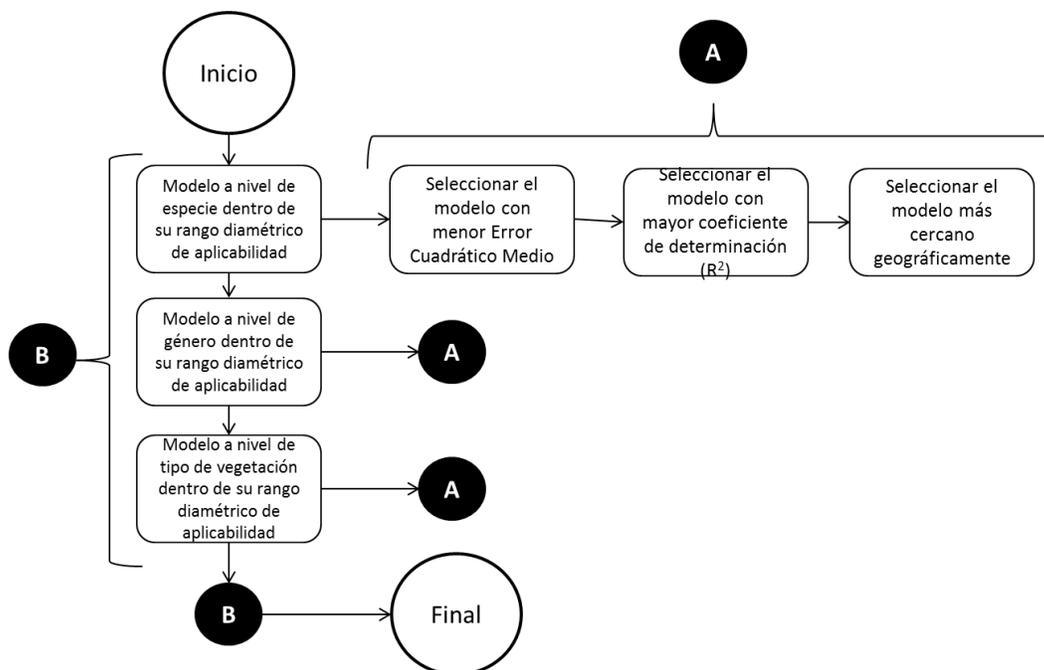


Figura 5. Árbol de decisión para la asignación de modelos alométricos de biomasa a nivel de árbol.

Para la cuantificación de biomasa por debajo del suelo (raíces) se emplearon las ecuaciones alométricas de Cairns *et al.* (1997) como una función de la biomasa leñosa aérea, por tipo de ecosistema.

A partir de la biomasa obtenida se le asignó una fracción de Carbono de forma diferenciada a cada registro (especie, género y grupo vegetal) de 56 fracciones de Carbono para especies del país encontradas en la literatura; en caso de no tener dato para el registro a nivel de especie, género y/o tipo de vegetación en el país, se le asignó la fracción promedio de 0.48% que resulta de los datos obtenidos de los registros que se tienen de fracciones de Carbono en la literatura a nivel nacional⁶.

Una vez estimado el Carbono de la biomasa leñosa aérea a nivel de árbol, se procedió a sumar el Carbono de todos los árboles de cada sub-parcela para obtener un total de la aérea a nivel de sub-parcela (Figura 6) del INFyS y para la estimación del total de Carbono (a nivel de sub-parcela) de la biomasa en raíces, se siguió un procedimiento análogo al utilizado en el almacén de la biomasa leñosa aérea.

⁶ Protocolo para la estimación de los contenidos de carbono y cambios en los contenidos de carbono – Proyecto para el Fortalecimiento de las capacidades REDD+ y la Cooperación Sur – Sur, CONAFOR 2014

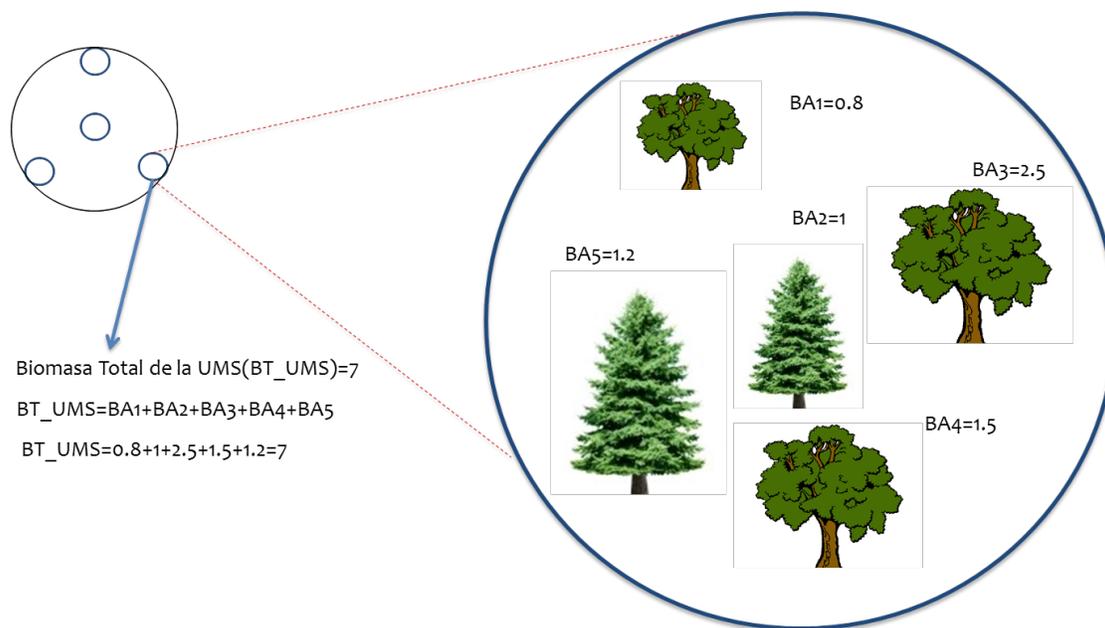


Figura 6. Estimación de la biomasa leñosa aérea total a nivel de sub-parcela.

Después de que se estimó el total de Carbono a nivel de sub-parcela para cada uno de los almacenes (biomasa leñosa aérea y raíces), se procedió a agrupar las parcelas de acuerdo a las coberturas vegetales forestales. Es decir, como las parcelas están georreferenciadas fue posible identificar la subcategoría de cobertura a la que cada una pertenece. De esta manera, el Cuadro 3 muestra la agrupación de las parcelas del muestreo del INFyS por subcategoría.

Cuadro 3. Número de parcelas por subcategoría con información disponible en el muestreo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos.

Subcategoría	Muestreo (2004-2007)
	Número de parcelas
Bosque de Cultivado	8
Bosque de Coníferas –Primario	4404
Bosque de Coníferas –Secundario	1137
Bosque de Encio-Primario	3365
Bosque de Encio-Secundario	1466
Bosque Mesófilo-Primario	357
Bosque Mesófilo-Secundario	160
Especial Otros Tipos Leñosos-Primario	32
Especial Otros Tipos Leñosos-Secundario	31

Especial Otros Tipos No Leñosos-Primario	3
Matorral Xerófilo Leñoso-Primario	1484
Matorral Xerófilo Leñoso-Secundario	198
Matorral Xerófilo No Leñoso-Primario	864
Matorral Xerófilo No Leñoso-Secundario	81
Pastizal	1806
Selva Caducifolia-Primario	939
Selva Caducifolia-Secundario	613
Selva Perenne-Primario	2375
Selva Perenne-Secundario	585
Selva SubCaducifolia-Primario	993
Selva SubCaducifolia-Secundario	491
Vegetación Hidrófila Leñosa-Primario	246
Vegetación Hidrófila Leñosa-Secundario	17
Vegetación Hidrófila No Leñosa-Primario	156
Total	21,811
Fuente: Elaboración propia con datos del INFyS (2004-2007), la Serie IV de los tipos de vegetación del INEGI agrupada en las subcategorías del Inventario de Gases de Efecto Invernadero.	

A partir de la agrupación de las parcelas de muestreo del INFyS se procedió a obtener los estimadores de razón de los FE, y sus incertidumbres en cada uno de los almacenes (biomasa leñosa aérea y raíces) para las Tierras Forestales.

Estos FE se estimaron con la finalidad de ser asignados a las “Tierras Forestales” que pasaron a “Otros Usos de Tierra”. Por lo tanto, para obtener los estimadores, se asume que las tierras que presentaron este proceso de deforestación perdieron todo el Carbono (Carbono de la biomasa leñosa aérea y raíces) que tenían almacenado. De esta forma se procedió a estimar las densidades promedio de Carbono (ton/ha.) y sus incertidumbres para cada subcategoría y se asumió que estos valores a nivel nacional son los que se emitieron a niveles locales en las zonas de deforestación.

Para obtener estas estimaciones se procedió a utilizar los datos de Carbono a nivel de sub-parcela del primer ciclo del INFyS (2004-2007), filtrando de manera previa aquellas parcelas que no pertenecen a “Tierras Forestales” de acuerdo a la clasificación de “Usos de la Tierra” del IPCC (2003). De esta manera, los estimadores se construyeron a partir de un tamaño total de muestra de 21,811 parcelas de las 26,220 que tiene el INFyS (Figura 6 y Cuadro 3).

Después de identificar el subconjunto de parcelas con las que se desarrollaría la estimación, se procedió a obtener los estimadores y sus incertidumbres.

La expresión de este estimador se muestra en la siguiente ecuación:

$$\hat{R}_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} y_{ik}}{\sum_{i=1}^{n_k} a_{ik}} \quad \text{Ec (1)}$$

Dónde:

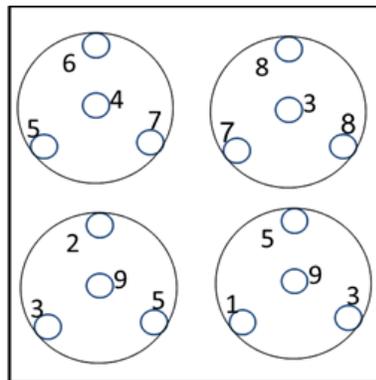
\hat{R}_k = Estimador del Carbono del estrato k .

y_{ik} = Carbono total en la sub-parcela/sitio (o UMS) i del estrato k .

a_{ik} = Superficie muestreada en la sub-parcela/sitio (o UMS) i (400m²) del estrato k .

n_k = Número total de sitios en el estrato k .

El estimador de “razón” por parcela se emplea directamente para el cálculo de Carbono en cada subcategoría de tierra forestal definida para el país. El procedimiento consiste en utilizar el grupo de parcelas que se encuentran en cada subcategoría para así determinar el contenido de Carbono ajustado a sus áreas y así obtener los factores de emisión y absorción a nivel nacional. En la Figura 7 se ilustra un grupo de parcelas que conforman un estrato y como se agregan para cuantificar el Carbono usando los estimadores de “razón”.



$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

$$\hat{R} = \frac{5+6+4+7+7+8+3+8+3+2+9+5+1+5+9+3}{0.04 \times 16}$$

$$\hat{R} = \frac{85}{0.64} = 132.8$$

Figura 7. Ejemplo del uso de estimadores de razón para el cálculo de Carbono en una subcategoría del INFyS.

Para estimar la incertidumbre de cada FE, se siguieron las directrices del IPCC 2006. De tal manera que en la Ecuación 3, se muestra la expresión utilizada para estimarlas:

$$U_k = \frac{IC_k/2}{\hat{R}_k} \times 100 \quad \text{Ec (2)}$$

Dónde:

U_k : Incertidumbre del estimador de Carbono de la subcategoría k .

\bar{x}_k : Estimador de Carbono de la subcategoría k .

IC_k : Intervalo del estimador de Carbono de la subcategoría k .

En la que el IC_k está en función de la varianza de \hat{R}_k :

$$\hat{R}_k - 1.96 \sqrt{\hat{V}(\hat{R}_k)} \leq R_k \leq \hat{R}_k + 1.96 \sqrt{\hat{V}(\hat{R}_k)}$$

Y la $\hat{V}(\hat{R}_k)$ esta está definida como se muestra en la Ecuación 3 (Velasco-Bautista *et al.*, 2003):

$$\hat{V}(\hat{R}_k) = \left(\frac{1}{n_k(n_k-1)\bar{a}^2} \right) \left(\sum_{i=1}^{n_k} y_{ik}^2 - 2 \hat{R}_k \sum_{i=1}^{n_k} y_{ik} a_{ik} + \hat{R}_k^2 \sum_{i=1}^{n_k} a_{ik}^2 \right) \quad \text{Ec (3)}$$

Dónde:

\hat{R}_k , y_{ik} , a_{ik} y n_k se definieron previamente.

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$$

El manejo de las bases de datos y los procesos de estimación fueron programados y ejecutados en el software estadístico R.

En el Cuadro 4 se muestran las estimaciones de los factores de emisión y su respectiva incertidumbre del Carbono de la biomasa leñosa aérea y de las raíces para aquellas tierras que pasaron de “Tierras Forestales” a “Otros Usos”. Como puede observarse, las estimaciones se comportan de manera consistente entre las subcategorías y dentro de las subcategorías (Primario/Secundario). Es decir puede verse que los promedios de Carbono de los bosques de Coníferas son más altos que los promedios de los bosques de Encino; al interior de la subcategoría de Bosque de encino, también puede observarse que el promedio de los primarios es mayor que el de los secundarios. Además, el Cuadro 4, también evidencia que las estimaciones se obtuvieron con tamaños de muestras grandes y por lo tanto sus incertidumbres son bajas (Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, 2014c).

Cuadro 4 , Factores de emisión y sus incertidumbres del Carbono de biomasa leñosa aérea, y raíces de las "Tierras forestales" que pasaron a "Otros Usos"

Subcategoría	Carbono de la biomasa leñosa aérea (ton/ha.)	Incertidumbre (%)	Carbono en Raíces (ton/ha)	Incertidumbre (%)
Bosque Cultivado	34.6	38	8.4	37
Bosque de Coníferas –Prim.	33.6	2	8.0	2
Bosque de Coníferas –Secund.	22.1	5	5.4	5

Bosque de Encino-Prim.	20.7	3	5.6	3
Bosque de Encino-Secund.	14.7	5	4.0	5
Bosque Mesófilo-Prim.	37.7	10	9.4	9
Bosque Mesófilo -Secund.	18.1	19	4.7	18
Especial Otros Tipos Leñ-Prim.	3.5	95	0.8	92
Especial Otros Tipos Leñ-Secund.	4.6	56	1.2	53
Matorral Xerófilo Leñ-Prim.	4.3	9	1.1	8
Matorral Xerófilo Leñ-Secund.	3.2	29	0.8	27
Selva Caducifolia-Prim.	17.4	5	4.3	5
Selva Caducifolia-Secund.	12.6	8	3.1	7
Selva Perenne-Prim.	40.4	3	9.5	3
Selva Perenne-Secund.	19.7	9	4.8	9
Selva SubCaducifolia-Prim.	30.2	5	7.3	4
Selva SubCaducifolia-Secund.	16.1	9	4.0	8
Vegetación Hidrófila Leñ-Prim.	13.3	22	3.2	21
Vegetación Hidrófila Leñ-Secund.	8.1	66	2.0	64

Para determinar el valor de las reservas de Carbono en las transiciones de tierras forestales a tierras agrícolas se utilizaron las orientaciones de las Guías de Buenas Prácticas 2003 (GBP), especialmente el cuadro 3.3.8 página 3.95 del Capítulo 3 que contiene valores por defecto nivel 1 ya que no se cuentan con datos para el país como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores por defecto de las reservas de Carbono presentes en la biomasa de tierras convertidas en tierras agrícolas en el año siguiente a la conversión.

Tipo de cultivo por región climática	Variación de las reservas de	Escala de error⁷
---	-------------------------------------	------------------------------------

⁷ Representa una estimación nominal de error equivalente al doble de la desviación estándar, expresada como porcentaje de la media

	Carbono en un año de crecimiento de tierras agrícolas (tC/ha.)	
Tierra agrícola anual	5	$\pm 75\%$
Tierra agrícola perenne		
Templada (todos los regímenes de humedad)	2.1	$\pm 75\%$
Tropical, seca	1.8	$\pm 75\%$
Tropical, húmeda	2.6	$\pm 75\%$

Estos valores se utilizaron de acuerdo al tipo de agricultura, es decir, para la anual el valor de la variación de las reservas será siempre 5. Para cultivos perennes, se utilizó dependiendo del tipo de clima, es decir, si el cambio provenía de un bosque se toma como templado, si proviene de un matorral es seco, y si proviene de selvas se toma como tropical húmedo.

Para las transiciones de tierras forestales a praderas, asentamientos, humedales, y otras tierras se infiere la pérdida total del Carbono en emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

c) Propagación de incertidumbres.

La propagación de las incertidumbres se desarrolló partiendo de la combinación de incertidumbres de las variaciones anuales de Carbono de cada transición agrupada por la transición “Tierras Forestales” que pasaron a “Otros Usos”.

Para combinar las incertidumbres de las variaciones anuales de Carbono a nivel de transición primero se procedió a estimar las incertidumbres de cada una de las variaciones por subcategoría (Carbono de la biomasa leñosa aérea y en raíces). Para ello, se tomó como insumo los FE y sus respectivas incertidumbres estimadas en el apartado de Factores de Emisión, las cuales están reportadas para los tipos de vegetación (clases) definidos en el apartado de Datos de Actividad (DA).

El método de propagación utilizado es el método analítico (*Método 1: Propagación del error*) del IPCC (2006) debido a que es un método fácil de implementar y es adecuado para la información de los FE disponibles actualmente. Cabe mencionar que por el momento no se cuenta con la incertidumbre de los Datos de Actividad, que es una de las razones por las que se utilizó el Método 1 del IPCC. En consecuencia, toda la propagación de incertidumbres en todos los niveles se desarrolló implementando consecutivamente la combinación de incertidumbres para la suma y la resta como lo indica el IPCC en una de las opciones de combinación del Método 1.

Combinación de incertidumbres a nivel clase en la transición por deforestación.

La estimación de las variaciones de Carbono a nivel de esta transición se obtuvo sumando las variaciones de la subcategoría de la biomasa leñosa aérea y la subcategoría de la biomasa de raíces de cada clase. Las variaciones de cada uno de estas subcategorías fue el resultado de ponderar los FE de cada clase por su respectiva área (ver Ecuación 4).

$$ABVA_{kij} = FA_{BVA_{kij}} \times A_{BVA_{kij}} \quad \text{Ec (4)}$$

Dónde:

$ABVA_j$: Variación de Carbono de la biomasa viva aérea de la clase j de la transición analizada

FA_{BVA_j} : Factor de emisión de Carbono de la biomasa viva de la clase j de la analizada

A_{BVA_j} : Área del FA_{BVA_j} del subcategoría j de la clase analizada

Como se observa en la ecuación anterior, la variación de Carbono de la Biomasa Viva Aérea (ABVA) fue el resultado de multiplicar una variable (que es el FE) y una constante (que es el área). Por lo tanto, la incertidumbre de la ABVA hereda directamente las propiedades de la incertidumbre del FE puesto que el área es una constante. Además, sabemos que las incertidumbres están en función de la varianza del estimador, por lo que para propagar las incertidumbres se recurrió a las propiedades de la varianza del FE. Los FE para esta transición del IPCC fueron obtenidos a partir de estimadores de razón (Velasco, 2003) y este estimador tiene la propiedad de que cuando se pondera por una constante, la varianza del producto ($FA_{BVA_{ij}} \times A_{BVA_{ij}}$) es igual a la varianza del FE multiplicada por el cuadrado de la constante (Velasco, 2003), este proceso se muestra en la Ecuación 5.

$$var(ABVA_j) = (A_{BVA_j})^2 \times var(FA_{BVA_j}) \quad \text{Ec (5)}$$

Dónde:

$Var(ABVA_j)$: Varianza de la $ABVA_j$.

$var(FA_{BVA_j})$: Varianza del FA_{BVA_j} , la cual está definida en el Protocolo de estimación de factores de emisión e incertidumbres (Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, 2014c).

Una vez obtenida la varianza de la ABVA de cada clase, se procedió a estimar sus incertidumbres siguiendo las directrices del IPCC (2003) como se exponen en la Ecuación 6.

$$U_{ABVA_j} = \frac{1.96 \times \sqrt{var(ABVA_j)}}{ABVA_j} \times 100 \quad \text{Ec (6)}$$

Dónde:

U_{ABVA_j} : Incertidumbre del ABVA de la clase j de la transición analizada.
 $var(ABVA_j)$ y $ABVA_j$: definidas previamente.

Cabe mencionar que a nivel de clase, las incertidumbres de las Variaciones de Carbono de la Biomasa de Raíces (ABVR), se estimaron de manera análoga a lo mostrado para la ABVA.

Para obtener la Biomasa Viva por clase, se sumó la biomasa leñosa aérea y de raíces; por lo tanto, después de estimar las incertidumbres de las ABVR y de las ABVA, se procedió a propagarlas a través de la combinación de incertidumbres por la adición como lo indica el Método 1 del IPCC. De esta manera las incertidumbres de las ABV por subcategoría se estimaron como se muestra en la Ecuación 7.

$$U_{ABV_j} = \frac{\sqrt{(U_{ABVA_j} \times ABVA_j)^2 + (U_{ABVR_j} \times ABVR_j)^2}}{|ABVA_j + ABVR_j|} \quad \text{Ec (7)}$$

Dónde:

U_{ABV_j} : Incertidumbre de las variaciones de Carbono de la Biomasa Viva de la clase j de la transición analizada.
 $ABVR_j$: Variaciones de Carbono de la Biomasa de Raíces de la clase j de la transición analizada.
 U_{ABVR_j} : Incertidumbre de la $ABVR_j$.
 U_{ABVA_j} y $ABVA_j$: definidas previamente.

Para el caso de las “Tierras Forestales” que pasaron a “Tierras Agrícolas”, al FE de la biomasa viva estimada a nivel de subcategoría se les resto el FE de la “Tierras Agrícolas” Por lo tanto, el FE utilizado para esta transición fue el resultado de una sustracción, por lo que la incertidumbre de este subconjunto de factores se obtuvo propagando sus respectivas incertidumbres como se muestra en la Ecuación 7 pero para la sustracción.

Propagación de incertidumbres de las variaciones a nivel de transición para deforestación

La estimación de las variaciones a nivel de transición resulta de la suma de las Variaciones de las clases (ver Ecuación 8).

$$ABV = \sum_{j=1}^{n_i} ABV_j \quad \text{Ec (8)}$$

Dónde:

ABV : Variación total de Carbono de la Biomasa Viva de la transición analizada.

ABV_j : Variación de Carbono de la Biomasa Viva de la clase j de la transición analizada.
 n_i : Número de clases en la transición analizada.

Cómo se observa en la Ecuación 9, las ABV de la transición analizada es el resultado de la adición de ABV de cada uno de sus subcategorías, por lo tanto, la incertidumbre se propagó a través de la combinación de incertidumbres por la adición mostrada en el Método 1 del IPCC:

$$U_{ABV} = \frac{\sqrt{(U_{ABV_1} \times ABV_1)^2 + (U_{ABV_2} \times ABV_2)^2 + \dots + (U_{ABV_{n_i}} \times ABV_{n_i})^2}}{|ABV_1 + ABV_2 + \dots + ABV_{n_i}|} \quad \text{Ec (9)}$$

Dónde:

U_{ABV} : Incertidumbre de la variación total de Carbono de la Biomasa Viva de la transición analizada.

U_{ABV_1} : Incertidumbre de las ABV de la clase 1 de la transición analizada.

U_{ABV_2} : Incertidumbre de las ABV de la clase 2 de la transición analizada.

$U_{ABV_{n_i}}$: Incertidumbre de las ABV de la clase n de la transición analizada.

ABV_1 : Variación de Carbono de la Biomasa Viva de la clase 1 de la transición analizada.

ABV_2 : Variación de Carbono de la Biomasa Viva de la clase 2 de la transición analizada.

ABV_{n_i} : Variación de Carbono de la Biomasa Viva de la clase n de la transición analizada.

d) Incendios Forestales

La estimación de emisiones debidas a incendios se divide en dos grandes grupos, la primera parte son emisiones de CO_2 debidas a la pérdida de biomasa por incendios en tierras forestales, y el segundo apartado son las emisiones de gases distintos al CO_2 derivados de la combustión in situ de biomasa.

El cálculo general de las emisiones de GEI por incendios forestales (espontáneos) se hizo con la ecuación general correspondiente a los lineamientos del IPCC en la sección de USCUS que es la siguiente (IPCC, 2003):

$$L_{\text{fire}} = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot 10^{-6}$$

Dónde:

L_{fire} = Cantidad de gases de efecto invernadero debido a incendios forestales, megagramos.

A = Área quemada, hectáreas.

B = Masa de combustible “disponible”, kg de materia seca ha^{-1} .

C = Factor de combustión (fracción de biomasa consumida), sin dimensiones.

D = Factor de emisión.

Área quemada por incendios (A)

El análisis de la superficie afectada por incendios se realizó con los datos oficiales de CONAFOR del periodo de 1995 a 2013⁸. En dichos reportes se registran las áreas afectadas por incendios que fueron combatidos. Esta forma de reporte no incluye los incendios que ocurrieron y no fueron combatidos, por lo que puede llevarnos a una subestimación de este tipo de perturbación. Las áreas afectadas se encuentran desagregadas por entidad federativa, año y estrato en la vegetación afectada, clasificadas en arbóreo, arbustivo y herbáceo (Cuadro 6). Los incendios en general que se presentan, son del tipo superficial, donde se quema principalmente todo lo que se encuentra en la materia muerta, el estrato herbáceo y arbustivo (Estrada, 2006).

Cuadro 6. Ejemplo del reporte de las bases de datos e incendios que ocurrieron en diferentes estratos dominantes por Estado.

	SUPERFICIE Ha			
	1998			
ESTADOS	Herbáceo	Arbustivo	Arbóreo	Total
Aguascalientes	5	99	63	167
Baja California	2,482	3,009	3	5,494
Baja California Sur	17	2	7	26
Campeche	182	0	5,271	5,453
Chiapas	85,335	47,590	65,883	198,808
Chihuahua	10,435	7,996	9,071	27,502
Coahuila	2,004	10,397	2,093	14,494
Colima	85	1,078	28	1,191
Distrito federal	4,705	714	316	5,735
Durango	24,191	24,347	20,422	68,960
Guanajuato	134	1,029	1,648	2,811
Guerrero	11,672	5,509	2,012	19,193
Hidalgo	5,984	5,222	3,351	14,557
Jalisco	8,208	6,121	3,867	18,196
México	9,616	12,350	3,881	25,847
Michoacán	8,553	11,315	5,922	25,790
Morelos	336	1,778	246	2,360
Nayarit	231	276	1,777	2,284
Nuevo León	502	25,076	2,556	28,134

⁸ <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>

Oaxaca	144,704	61,803	35,143	241,650
Puebla	5,745	8,860	5,230	19,835
Querétaro	776	15,612	1,136	17,524
Quintana roo	880	3,920	1,409	6,209
San Luis Potosí	4,058	13,780	9,343	27,181
Sinaloa	2,757	859	4,595	8,211
Sonora	1,194	380	93	1,667
Tabasco	5,436	5,369	3,133	13,938
Tamaulipas	466	14,846	2,514	17,826
Tlaxcala	4,819	2,617	1,396	8,832
Veracruz	1,730	3,814	4,146	9,690
Yucatán	2,454	2,008	935	5,397
Zacatecas	2,546	1,127	997	4,670
Total anual	88,956	105,014	115,117	309,087

La superficie reportada por Estado se relacionó con el tipo de vegetación que presenta o han presentado incendios en cada estado, ya que no todos los tipos de vegetación son propensos a quemarse y en consecuencia algunas subcategorías INEGI para un estado en específico. En el análisis se desagregaron también las fases de dominantes de la vegetación que describe el INEGI en su cartografía, que son la fase de vegetación arbórea, arbustiva y herbácea para poder vincular la categoría INEGI a la superficie del estrato afectado reportado por la CONAFOR. El procedimiento anterior se realizó con el fin de poder inferir la superficie por tipo de vegetación a nivel de estado ya que no se cuenta con el dato de actividad histórico referido geográficamente (polígonos).

Para la selección de las subcategorías que presentan incendios históricamente, se utilizó como indicador los datos espacialmente explícitos generados por la Gerencia de Protección Contra Incendios Forestales de CONAFOR, donde se realizó un control de calidad en la georeferencia de los incendios en el periodo 2005 – 2013, logrando ubicar 45,433 eventos de los 79,465 registrados entre 1995 a 2014 (57%). Dichos registros se utilizaron como un indicador que ponderó la ocurrencia de incendios para cada subcategoría por estado donde es posible que ocurran incendios (Figura 8). Ya ubicando cada subcategoría de ocurrencia por estado se puede conocer sobre qué cantidad de superficie y en que estratos de vegetación afectada podemos asignar proporcionalmente el área afectada por incendios forestales para todo el periodo histórico.

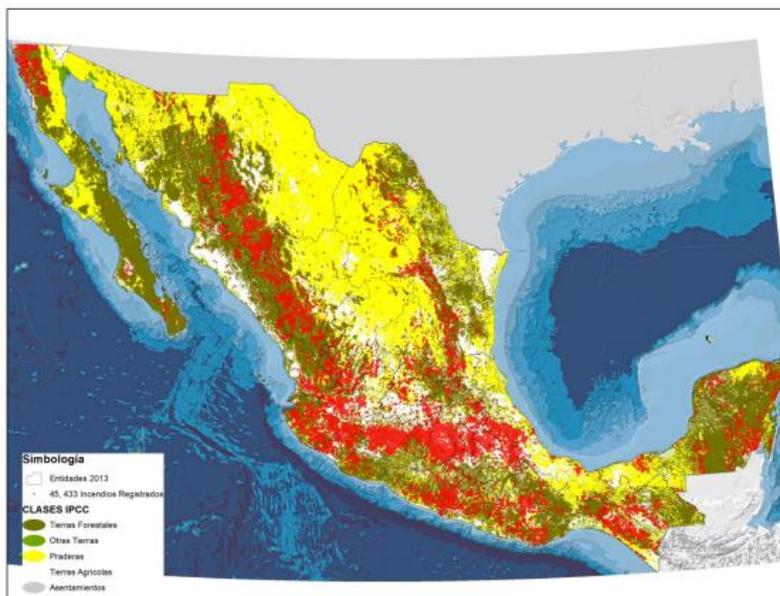


Figura 8. Incendios geo referidos por Estado en el periodo 2005-2013 en clases IPCC.

A partir de la información de Uso de Suelo y Vegetación de cada una de las Series evaluadas se cuantificaron las superficies por subcategoría INEGI seleccionada por fase de desarrollo y por estado, con el objetivo de determinar su contribución en cada estrato afectado por incendios. Las superficies y sus áreas relativas se obtuvieron de acuerdo al periodo de tiempo correspondiente para cada Serie INEGI. Por consiguiente, las áreas afectadas por incendios de 1995-2002 fueron asignados al área relativa de la superficie por estado obtenida para cada subcategorías en Serie II, los de 2003-2007 para la Serie III, los de 2008-2011 para la Serie IV y los de 2012-2013 a la Serie V (Cuadro 7).

Cuadro 7. Ejemplo del cálculo de superficie por estado (Aguascalientes) y su área relativa por estrato de afectación (arbóreo, arbustivo y herbáceo).

	1993	2002	2007	2011		1993	2002	2007	2011
COB	SII	SIII	SIV	SV		SII	SIII	SIV	SV
BE/S	882,957,518	478,462,589	514,287,541	508,007,967		46.24%	40.21%	43.44%	43.21%
MXL/P	303,340,556	300,773,069	190,146,461	188,469,733		15.89%	25.28%	16.06%	16.03%
MXL/S	95,830,915	88,558,123	181,431,851	181,431,851		5.02%	7.44%	15.32%	15.43%
SC/S	627,258,992	322,073,945	298,085,129	297,659,897		32.85%	27.07%	25.18%	25.32%
	1,909,387,981	1,189,867,726	1,183,950,982	1,175,569,448					

Con el propósito de distribuir la superficie anual afectada por incendios, en cada subcategoría y estrato afectado por estado, se multiplicó el área relativa (%) por la superficie afectada en cada estrato afectado anualmente de cada subcategoría INEGI. El resultado es una superficie proporcional anual afectada por incendios por

subcategoría (Figura 9) y Estado. Para finalizar con la determinación de las superficies afectadas por incendios superficiales en cada subcategoría se realizó su sumatoria por estado para así obtener el total nacional por año.

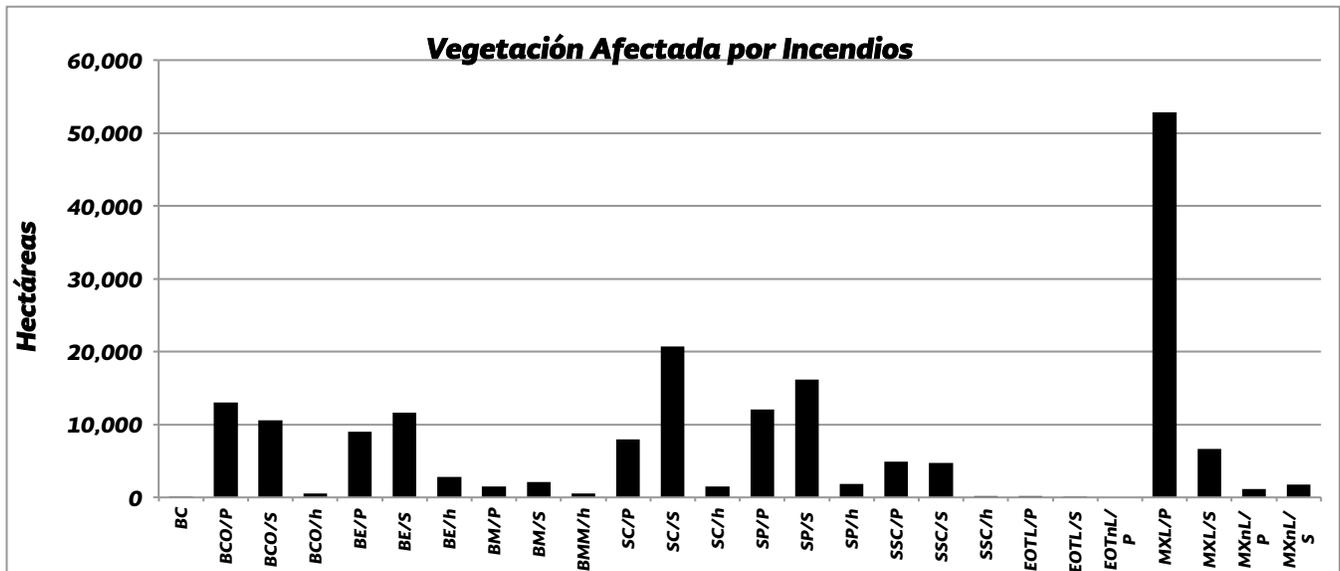


Figura 9. Superficie (ha.) por subcategoría INEGI afectada por incendios.

Masa de combustible disponible (B)

Para realizar la cuantificación del combustible disponible nos centraremos en el concepto de “cama de combustible” que es una unidad de material vegetativo que representa uno o varios ambientes de combustión (Riccardi *et al.* 2007), para los incendios superficiales –que son los más comunes en México–, los estratos que la conforman son: el horizonte de fermentación, hojas superficiales, material leñoso caído, vegetación de baja altura (estrato herbáceo) y arbustos.

Con base a las categorías mencionadas anteriormente, se cuantificaron los combustibles (biomasa y necromasa) usando principalmente la herramienta de fotoseries para la cuantificación de combustibles forestales aplicables para ecosistemas del territorio nacional (Alvarado *et al.* 2008, Ottmar *et al.* 2007, Ottmar *et al.* 2000) que se usan como fuente principal en sistema del Sistema de Clasificación de Características de Combustibles (FCCS, por sus siglas en Inglés). Adicionalmente se realizó una búsqueda exhaustiva en la literatura científica y literatura gris (tesis, informes y memorias de congresos) que contuviera información de diferentes tipos de vegetación y componentes de los combustibles en diversos estados de la República Mexicana y los estados fronterizos de los Estados Unidos de

América con los que se comparten ecosistemas forestales, para así cubrir el máximo de información disponible.

La revisión de la literatura obtuvo 186 camas de combustibles prototipo para diferentes tipos de vegetación en México (Cuadro 8). Con la finalidad hacer generalizaciones a nivel nacional, las camas de combustibles prototipo se agregaron de acuerdo a los métodos sugeridos por Hardy *et al.* 2000 para formar condiciones de combustible que representen cada subcategoría INEGI.

Cuadro 8. Tipos de vegetación y Clase de Condición de Combustible (CCC) que la representa (n= número de sitios que representan la CCC).

Subcategoría INEGI (CCC)	Tipo de vegetación INEGI	Fuente	n
Bosque de coníferas	Bosque de pino	Alvarado <i>et al.</i> 2008, Alvarado (datos no publicados), Estrada 2006, Navarrete 2006, Ordoñez <i>et al.</i> 2008, Ottmar <i>et al.</i> 2000, Ottmar <i>et al.</i> 2007, Pérez 2005, Stephens 2004, Villers-Ruiz <i>et al.</i> 2001	36
	Bosque de pino-encino	Alvarado <i>et al.</i> 2008, Camp <i>et al.</i> 2006, Estrada 2006, Fulé y Covington 1994, Navarrete 2006, Ordoñez <i>et al.</i> 2008, Pérez 2005, Rodríguez y Sierra 1995, Villers-Ruiz <i>et al.</i> 2001	7
	Bosque de Oyamel	Alvarado <i>et al.</i> 2008, Estrada 2006, Navarrete 2006, Ordoñez <i>et al.</i> 2008, Pérez 2005, Rodríguez y Sierra 1995	19
	Bosque de táscate	Ottmar <i>et al.</i> 2000	9
Bosque de encino	Bosque de encino	Alvarado <i>et al.</i> 2008, Estrada 2006, Fulé y Covington 1994, Morales <i>et al.</i> 2000, Navarrete 2006, Ordoñez <i>et al.</i> 2008, Ottmar <i>et al.</i> 2000, Ottmar <i>et al.</i> 2007, Pérez 2005, Rodríguez y Sierra 1995, Villers-Ruiz <i>et al.</i> 2001	14
	Bosque de encino-pino	Villers <i>et al.</i> 2001, Alvarado <i>et al.</i> 2008, Ottmar <i>et al.</i> 2007, Estrada 2006	16
Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña	Alvarado <i>et al.</i> 2008, Asbjornsen <i>et al.</i> 2005	5
Selva perennifolia	Selva alta perennifolia	Hughes <i>et al.</i> 2000, Hughes <i>et al.</i> 1999	22
Selva	Selva mediana	CONAFOR-USFS 2006, Harmond	14

subcaducifolia	subcaducifolia	<i>et al.</i> 1995, Jaramillo <i>et al.</i> 2003, Whigham <i>et al.</i> 1991,	
	Selva baja subcaducifolia	CONAFOR-USFS 2006	2
Selva caducifolia y Especial Otros tipos (bosque de mezquite)	Selva baja caducifolia	Jaramillo <i>et al.</i> 2003, Romero-Duque, 2008	13
	Matorral subtropical	Pérez 2005, Navarrete 2006, Ordoñez <i>et al.</i> 2008	1
Matorral xerófilo	Chaparral	Ottmar <i>et al.</i> 2000	16
	Matorral submontano	Alvarado <i>et. al</i> 2008, Rodríguez y Sierra 1995	3
	Matorrales xerófilos (varios)	INE, 2006	5

Debido a que se cuenta con pocos trabajos para representar la heterogeneidad de los ecosistemas de México y el número de observaciones es variado para cada categoría por CCC (en algunos casos se cuentan con más de 20 observaciones y en otros casos solamente con 3), la cantidad de combustible disponible se obtuvo con la mediana como medida de tendencia central, que es más adecuada cuando se cuentan con pocos datos o distribuciones no normales, para evitar los valores muy extremos, y en caso de contar con una distribución normal debe ser parecida a la media (Zar, 1999) como se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Mediana de la cantidad de biomasa (Mg m. s. ha⁻¹) de cada categoría por CCC y la categoría de combustible. F=Capa de Fermentación, Ho y MLC-P= Hojarasca y Material Leñoso Caído Pequeño, MLC-G= Material Leñoso Caído Grande, Her= Herbáceas, Arb= Arbustivos.

CCC	Categorías Mg m. s. ha ⁻¹										
	F	n	Ho y MLC-P	n	MLC-G	n	Her	n	Arb	n	Total
Bosque de Coníferas	13.39	35	10.04	69	9.59	67	0.20	47	0.37	47	33.60
Bosque de coníferas arbustivo	13.39	35	10.04	69			0.20	47	0.37	47	24.00
Bosque de coníferas herbáceo			10.04	69			0.20	47			10.24
Bosque de Encino	14.21	14	7.62	27	0.33	27	0.46	20	0.71	20	23.32
Bosque de encino arbustivo	14.21	14	7.62	27			0.46	20	0.71	20	22.99

Bosque de encino herbáceo			7.62	27			0.46	20			8.08
Bosque mesófilo de montaña	11.93	5	2.02	5	6.94	1	0.15	1	0.19	1	21.23
Bosque mesófilo de montaña arbustivo	11.93	5	2.02	5			0.15	1	0.19	1	14.29
Bosque mesófilo de montaña herbáceo			2.02	5			0.15	1			2.17
Selva perennifolia	SD		5.75	14	9.1	15	7.5	7	5	15	27.35
Selva perennifolia arbustiva	SD		5.75	14			7.5	7	5	15	18.25
Selva perennifolia Herbácea			5.75	14			7.5	7			13.25
Selva subcaducifolia	SD		9.18	16	31.25	16	7.1	15	2.1	17	49.63
Selva subcaducifolia arbustiva	SD		9.18	16			7.1	15	2.1	17	18.38
Selva subcaducifolia herbácea	SD		9.18	16			7.1	15			11.28
Selva caducifolia/Especial otros tipos leñoso	SD		12.57	13	10.5	13	3.64	8	2.45	4	29.16
Selva caducifolia/Especial otros tipos leñoso arbustivo			12.57	13			3.64	8	2.45	4	18.66
Selva caducifolia/Especial otros tipos leñoso herbáceo			12.57	13			3.64	8			
Matorral xerófilo Leñoso y no leñosos	2.97	2	5.78	6			1.44	3	26.34	24	36.53

Factores de Consumo o proporción de biomasa consumida (C).

Los Factores de Consumo fueron tomados por defecto de los valores usados en el software CONSUME 3, los cuales fueron desarrollados en base a modelos empíricos experimentales en ecosistemas forestales templados secos del oeste de Estados Unidos que estiman el consumo total en las tres fases de la combustión (Prichard et al. 2009).

Los Factores de Consumo resultantes para cada subcategoría INEGI de bosques templados, son generales obtenidos por estrato y categoría de combustible, para ser aplicados según sea el caso para cada subcategoría INEGI y su fase de desarrollo de la vegetación como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Factores de consumo por subcategoría INEGI y grupo de combustible obtenidos de CONSUME 3.

Subcategoría INEGI	Horizonte de fermentación	Hojas y MLC <7.62 cm	MLC >7.62 cm	Hierbas	Arbustos
Bosque de Coníferas	0.79	0.93	0.55	0.93	0.89
Bosque de Encino	0.61	0.93	0.55	0.93	0.90
Bosque Mesófilo de Montaña	0.45	0.93	0.55	0.93	0.89
Matorral xerófilo	NA	0.93	0.55	0.93	0.89

En selvas tropicales es escasa o inexistente la información sobre los factores de consumo y para México solo Kauffman et al. (2003) registra valores para selvas bajas caducifolias en quemas de conversión de uso del suelo, los cuales por ser la única fuente se usaron para las selvas secas. En los demás grupos de combustibles de selvas tropicales se utilizaron los valores de proporción de biomasa consumida proporcionados por los lineamientos del IPCC en su sección de USCUS (IPCC, 2003) como se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Factores de consumo por CCC y grupo de combustible obtenidos del IPCC 2003 y Kauffman et al. 2003 para los bosques tropicales y algunos tipos de matorral.

Clase de condición de combustible	Horizonte de fermentación	Hojas y MLC <7.62 cm	MLC >7.62 cm	Hierbas	Arbustos
Selva perennifolia ⁹	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Selva subcaducifolia ⁷	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Selva caducifolia y Especial Otras Tierras ¹⁰	NA	0.89	0.71	1	0.78

⁹ IPCC 2003

¹⁰ Kauffman et al. 2003

Los Factores de Consumo se asignaron a cada superficie de las subcategoría INEGI y su fase de desarrollo de vegetación, en función del ambiente de combustión que interviene y en correspondencia con su masa disponible según sea el componente.

Factores de Emisión (D)

Se seleccionaron para este informe los FE de Andreae y Merlet (2001) que comprenden una revisión exhaustiva y actualizada de todas las publicaciones sobre FE de CO₂ y gases traza de CH₄, CO, N₂O y NO_x en bosques, y proporcionan valores generales en categorías similares a las propuestas por el IPCC para el sector USCUS, que son bosques extratropicales (incluye bosques templados, boreales y matorrales de la zona templada); y tropicales (Cuadro 12). Se aplicaron los factores de emisión para bosques extratropicales a las subcategorías de bosque de coníferas, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña y matorrales xerófilos; FE de bosques tropicales a la selva perennifolia, selva baja subcaducifolia y selva caducifolia.

Cuadro 12. Factores de emisión por tipo de vegetación y especie química (Andreae y Merlet 2001).

Tipo de vegetación	CO₂	CH₄	CO	N₂O	NO_x
Bosques extratropicales	1569	4.7	107	0.26	3
Bosques tropicales	1580	6.8	104	0.2	1.6

5. Actividades, Depósitos y Gases.

a) Actividades.

El presente NNREF incluye las emisiones asociadas a la deforestación bruta, así como las emisiones causadas por incendios en tierras forestales. Las emisiones causadas por degradación, no se incluyen en el NNREF, pero se estiman y presentan en el Anexo 1. Para estimar la degradación se calculan las emisiones asociadas a las pérdidas del Carbono en las tierras forestales primarias y tomando como base la definición de degradación de la LGCC, la cual establece que el fenómeno se presenta cuando hay una reducción en el contenido de Carbono en la vegetación natural debido a la intervención humana.

Cabe resaltar que se ha hecho un primer esfuerzo para estimar las emisiones por degradación, reconociendo que se trata de un análisis preliminar cuyo sustento

metodológico será mejorado a medida que se obtengan nuevos datos del tercer ciclo del INFyS, pero que sin embargo demuestra que no se está excluyendo una actividad significativa del NNREF.

Para otras acciones como las dirigidas al aumento de los acervos de Carbono y al manejo sostenible de bosques, según la provisión incluida en la decisión 2CP17 sobre el enfoque escalonado, México mejorará su nivel de referencia incorporando estas actividades en la medida que se consoliden desarrollos metodológicos costo efectivos para tal fin.

b) Depósitos.

El tratamiento de los almacenes de Carbono es consistente con los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero (INEGI) presentados por México en sus comunicaciones nacionales. El nivel de referencia proyectado incluye las emisiones y remociones de los siguientes almacenes: biomasa leñosa aérea y biomasa de raíces para deforestación. Otros dos almacenes de detritus y madera muerta han sido considerados en las emisiones por incendios forestales (Cuadro 13); mientras que el Carbono orgánico del suelo no ha sido considerado ya sus emisiones no son significativas (INECC-CONAFOR, 2014).

Cuadro 13. Reservorios de Carbono.

Actividad/ Perturbación	Reservorio	Descripción
Deforestación	Biomasa leñosa aérea	Árboles y arbustos mayores a 7.5 cm de diámetro normal.
	Biomasa de raíces	Raíces finas.
Incendios	Madera muerta	Material leñoso caído encontrado sobre la hojarasca mayor a 7.5 cm de diámetro.
	Hojarasca	Biomasa muerta que no ha entrado en un estado avanzado de descomposición, incluye acículas, hojas, líquenes y material leñoso menor a 7.5 cm, que se encuentran por encima del suelo mineral.
	Fermentación	Biomasa muerta que está en estado de descomposición, incluye acículas, hojas, líquenes y material leñoso menor a 7.5 cm, que se encuentran por encima del suelo mineral.
	Hierbas	Vegetación herbácea que se encuentra sobre el suelo, incluye pastos, hierbas y arbustos no leñosos..

	Arbustos	Vegetación de baja altura que se encuentra por encima del suelo, con diámetros menores a 7.5 cm.
--	----------	--

c) Gases.

Emisiones por deforestación.

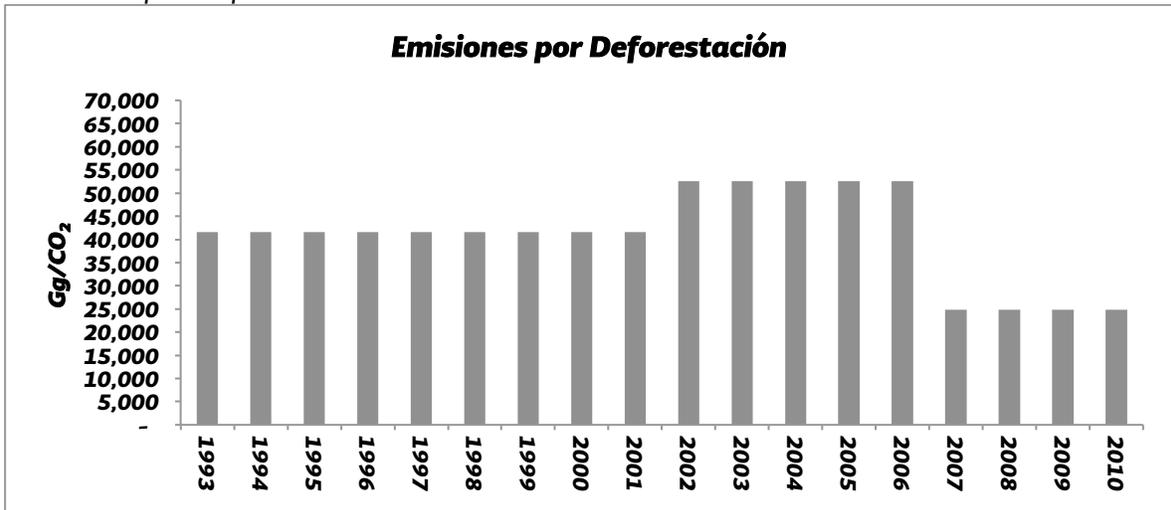


Figura 10. Emisiones por deforestación.

Emisiones por incendios forestales.

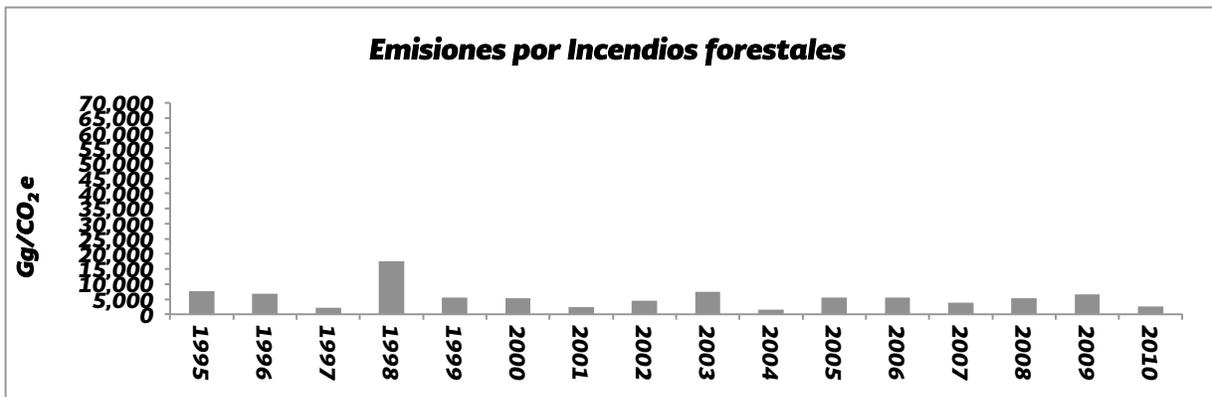


Figura 11. Emisiones por incendios forestales.

Emisiones totales

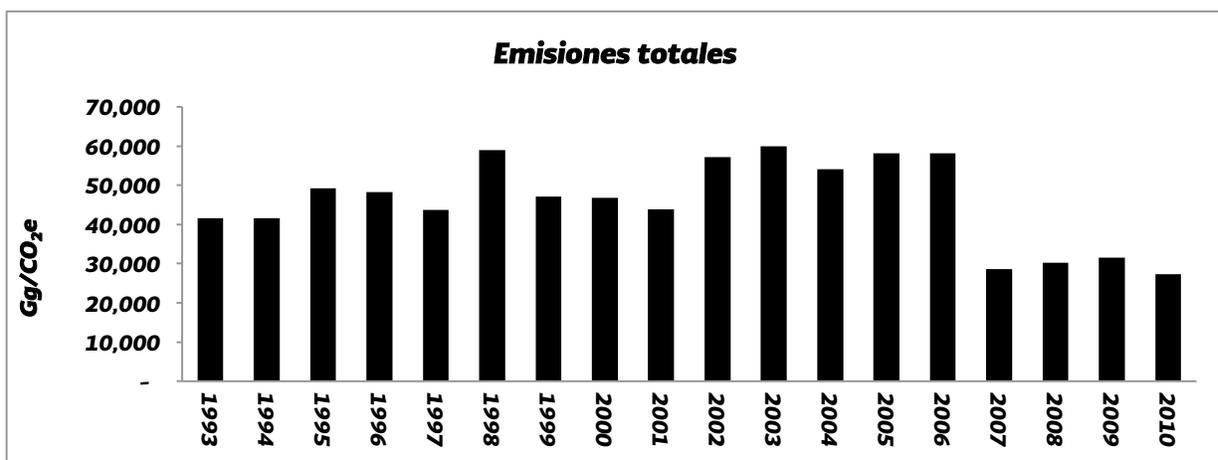


Figura 12. Emisiones totales.

6. Definición de Bosque.

La definición de bosque usada para la construcción del NNREF es consistente con la usada en el INEGI que se presenta como parte del BUR, así como con el reporte de la Evaluación de Recursos Forestales (FRA, por sus siglas en Inglés) presentado a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la unidad mínima cartografiada de las Series de USV de INEGI. Para definir el parámetro de altura, el cual no puede ser establecido a través de sensores remotos, se analizaron los datos de altura del arbolado del INFyS con el objeto de estimar la altura mínima basada en los datos de campo.

Por lo tanto, la definición de bosque utilizada es “Tierras que se extienden por más de 50 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 4 metros y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano”.

La definición de bosque está alineada con la definición de “Terreno forestal” establecida en la LGDFS, la cual es el marco para estimar las emisiones de GEI para la categoría de “Tierras Forestales” en el BUR. La definición de terreno forestal es, todas aquellas que están cubiertas por vegetación forestal. Y la Vegetación Forestal se

define como “El conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas.

La definición de bosque es consistente con los avances en el proceso de preparación de REDD+ a nivel nacional, y responde a los comentarios hechos por los diversos actores participando en este proceso (CTC, GT, CONAF entre otros); los cuales sugieren utilizar la definición más amplia para que se cumpla el objetivo de ser incluyentes en la implementación de REDD+ en México (ENAREDD+, 2014).

7. Nivel de Referencia de Emisiones

a) Definición del Nivel Nacional de Referencia de las Emisiones Forestales.

Aun cuando se tienen datos para un periodo de tiempo amplio, el NNREF es construido a partir del periodo histórico entre los años 2000 y 2010; este periodo es un referente para los cambios en las políticas públicas en el sector forestal, así como para el fortalecimiento de las instituciones que las implementan a nivel nacional, por lo que el nivel de referencia de emisiones para pagos basados en resultados para el periodo 2011 - 2015 corresponde a las emisiones promedio causadas por la deforestación bruta para el periodo 2000 – 2010, asumiendo que las políticas adoptadas y consolidadas en este periodo son las mismas que siguen operando en adelante y bajo las cuales se emprenden acciones de mitigación.

Uno de los grandes avances que tuvo México fue la creación de la CONAFOR en el 2001 y el desarrollo de programas de estímulo que mejoren la situación del sector forestal en el país dando prioridad al Desarrollo Forestal Sustentable (Del Angel-Mobarak, 2012).

Los programas de estímulos que implementa la CONAFOR se basan en el apoyo a las comunidades y ejidos, que en México son los poseedores de la mayor parte de los bosques y selvas.

El principal marco en el que se centran las políticas forestales del país es la LGDFS que se publicó en febrero de 2003. A partir de este punto se considera al Desarrollo Forestal Sustentable como un área prioritaria del desarrollo nacional.

El objetivo principal del Desarrollo Forestal Sustentable es lograr una gestión sustentable de los ecosistemas forestales, el fomento de una producción integral cada vez más eco-eficiente y el estímulo a esta forma de producción y conservación, el mejoramiento del bienestar social, especialmente en las áreas rurales, y el mantenimiento del potencial de producción maderable, no maderable y de servicios ambientales.

Por otro lado, el año que se toma como final del periodo histórico fue marcado por varias cosas, la primera de ellas fue el desarrollo de la 16ª sesión de la Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en Inglés) de la CMNUCC en México en donde se tuvieron los acuerdos de Cancún. Durante esta sesión, México dio a conocer la Visión México sobre REDD+ (CONAFOR, 2010), expresando así, su firme interés de emprender acciones de mitigación en el sector forestal bajo el mecanismo REDD+; adicionalmente se prepararon los Proyectos de Gobernanza Local para Implementación de Áreas de Acción Temprana REDD+, con el apoyo económico de la Comisión Europea a través de la Facilidad de Inversión en América Latina (LAIF, por sus siglas en Inglés); el Proyecto Bosques y Cambio Climático, financiado por el Banco Mundial; el Programa de Inversión Forestal; y el Proyecto Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur, financiado por el gobierno de Noruega; entre otros proyectos que soportan el proceso de preparación e implementación de acciones de mitigación en México.¹¹

b) Nivel Nacional de Referencia de las Emisiones Forestales.

El NNREF de México para las actividades de deforestación bruta incluyendo las perturbaciones causadas por incendios forestales a partir del promedio histórico en el periodo del 2000 al 2010 es de 45,073 GgCO₂e /año para el periodo 2011-2015, como se muestra en el Cuadro 13 y la Figura 14.

Cuadro 13. Emisiones anuales totales debidas a deforestación e incendios forestales y el promedio que representa el nivel de referencia de emisiones.

Año	Emisiones GgCO₂e
2000	46,792.70
2001	43,881.55
2002	57,101.37
2003	60,012.41
2004	54,127.95
2005	58,115.62
2006	58,146.21
2007	28,563.15
2008	30,202.90
2009	31,486.21
2010	27,367.61
Promedio	45,072.52

¹¹ <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/bycc/>

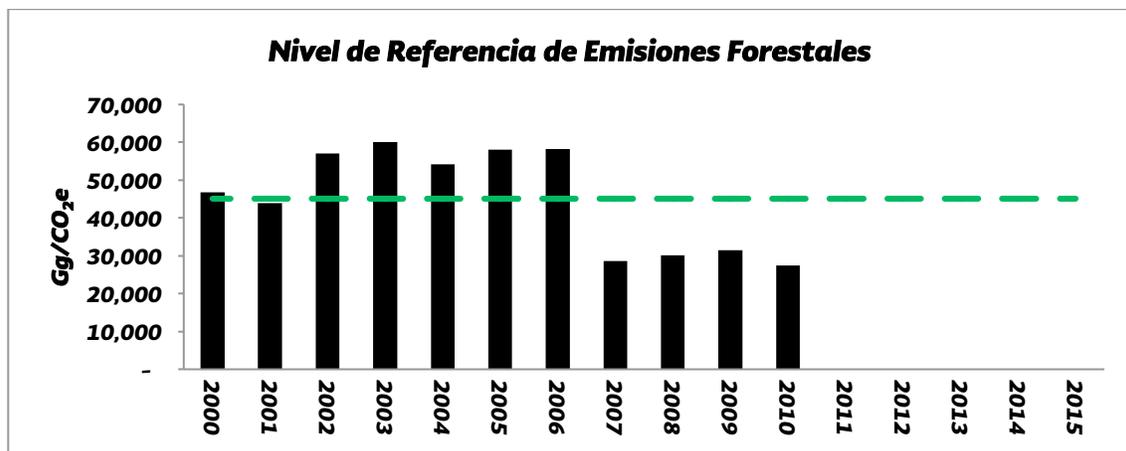


Figura 14. Emisiones anuales totales debidas a deforestación e incendios forestales y el promedio que representa el nivel de referencia de emisiones.

8. Mejoras metodológicas en el corto plazo.

a) Sistema Satelital de Monitoreo de la Cobertura Forestal (MAD-Mex).

Como parte del proceso de preparación para REDD+ en México se están desarrollando capacidades para el desarrollo e implementación del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF), como parte de este proceso se ha desarrollado un sistema capaz de clasificar las imágenes satelitales de manera semiautomatizada, por lo que se espera contar con cartografía similar a las Series INEGI con mayor resolución espacial y temporal.

Una descripción metodológica y de los resultados preliminares se puede encontrar en Gebhardt, *et al* 2014.

Adicionalmente el sistema cuenta con un algoritmo para detección de cambios directamente a partir de las imágenes con lo que se espera mejorar la información de cambio a nivel nacional; se está documentando este procedimiento y se tendrá un reporte técnico cuando se finalice.

b) Inventario Nacional Forestal y de Suelos.

En el 2013 se terminó de levantar la información del segundo ciclo del INFyS. Sin embargo al analizar los datos se identificó una pérdida constante de muestras debido a inaccesibilidad, por lo que en el 2014 se ha colectado la información en los sitios que faltaron para así recuperar la muestra original del INFyS.

Adicionalmente, está por iniciar el tercer ciclo 2015-2019, donde se han incluido todos los acervos de Carbono, por lo que una vez concluido se podrán incluir para el desarrollo de FE.

9. Referencias

Alvarado, E. Datos no publicados. Datos de campo de los archivos del US. Forest Service, Pacific Wildland Fire Sciences laboratory, Seattle, WA.

Alvarado, C.E., J.E. Morfín-Ríos, E.J. Jardel-Peláez, R.E. Vihnanek, D.K. Wright, J.M. Michel-Fuentes, C.S. Wright, R.D. Ottmar, D.V. Sandberg, A. Nájera-Díaz. 2008. Photo series for quantifying forest fuels in Mexico: montane subtropical forests of the Sierra Madre del Sur and temperate forests and montane shrubland of the northern Sierra Madre Oriental. Pacific Wildland Fire Sciences Laboratory Special Pub. No. 1. Seattle: University of Washington, College of Forest Resources. 93 p.

Andreae, M.O., P. Merlet. 2001. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 15, No. 4. Pp. 955-966.

Asbjornsen, H.N., N. Velázquez-Rosas, R. García-Soriano, C. Gallardo-Hernández. 2005. Deep ground fires cause massive above- and below-ground biomass losses in tropical montane cloud forests in Oaxaca, México. *Journal of Tropical Ecology*, 21:427-434.

Camp, A., H.M. Polous, R. Gatewood, J.yJ. Sirotnak, Karges. 2006. Assesment of top down and bottom up controls on fire regimes and vegetation abundance and distribution patterns in the Chihuahuan Desert borderlands: A hierarchical approach. Final Report to the Joint Fire Science Program. Yale University. School of forestry and Environmental Studies. New Heaven, CT, USA.

Cairns, M.A.S., S. Brown, E.H. Helmer, G.A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecología* 11, 1-11.

CMNUCC, 2011. Informe de la Conferencia de las partes sobre su 16° período de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010. FCCC/CP/2010/7/Add.1

CMNUCC, 2012. Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 17° período de sesiones, celebrado en Durban del 28 de noviembre al 11 de diciembre de 2011. FCCC/CP/2011/9/Add.2

CMNUCC, 2014. Informe de la Conferencia de las partes sobre su 19 periodo de sesiones, celebrado en Varsovia del 11 al 22 de Noviembre del 2013 FCCC/CP/2013/10/Add.1

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)- US. Forest Service (USFS), 2006. Evaluación del Riesgo de Incendios Forestales por el Huracán “Wilma”2005, Quintana Roo. CONAFOR. 57 pp.

CONAFOR, 2010. Visión de México sobre REDD+: hacia una estrategia nacional. México, 2010.

CONAFOR, 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos, Informe 2004 – 2009.

CONAFOR, 2014. Programa Nacional Forestal.

Del Angel-Mobarak, G.A. 2012. La Comisión Nacional Forestal en la historia y el futuro de la política forestal de México, editor. 2012. CIDE y CONAFOR.

DOF, 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable; última reforma 27/06/2013.

DOF, 2012. Ley General de Cambio Climático; última reforma 07/05/2014

DOF, 2013. ACUERDO por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático. 03/06/2013.

ENAREDD+, 2014. Estrategia Nacional REDD+ para consulta pública. <http://www.enaredd.gob.mx/>

ESRI, 2012. ArcGis, Ver. 10.1 SP1 for Desktop.

Estrada, M.O. 2006. Sistema Nacional de Protección contra los Incendios Forestales. En: G. Flores G., D.A. Rodríguez T., O. Estrada M. y F. Sánchez Z. (eds.) Incendios Forestales. Mundi Prensa. México D.F. Pp. 185-213.

Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur. 2014a. “Metodología para la representación coherente de las tierras para la actualización del Informe Bienal para la categoría USCUS”. CONAFOR, Organización de las Naciones Unidas para la

Agricultura y la Alimentación (FAO) y Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP). Zapopan, Jalisco, México (Reporte técnico).

Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur. 2014b. “Estimación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Forestal en México. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP). Zapopan, Jalisco, México (Reporte técnico).

Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur. 2014c. “Estimación de los factores de emisión y sus respectivas incertidumbres de la biomasa leñosa aérea y de raíces para la actualización del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2012, del sector de cambio de uso de suelo, uso de suelo y silvicultura (USCUSS)”. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP). Zapopan, Jalisco, México (Reporte técnico).

Fulé, P.Z., W.W. Covington. 1994. Fire Regime Disruption and Pine-Oak Forest Structure in Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Restoration Ecology* Vol. 2 No. 4, pp. 261-272.

Gebhardt, S., T. Wehrmann, M.A.M. Ruiz, P. Maeda, J. Bishop, M. Schramm, R. Kopeinig, O. Cartus, J. Kellndorfer, R. Ressler, L.A. Santos, M. Schmidt. MAD-MEX: Automatic Wall-to-Wall Land Cover Monitoring for the Mexican REDD-MRV Program Using All Landsat Data. *Remote Sens.* 2014, 6, 3923-3943.

Hardy, C.C., R.E. Burgan, R.D. Ottmar. 2000. A database for Spatial Assessments of Fire Characteristics, Fuel Profiles, and PM10 Emissions. En: Sampson R. N., Atkinson R. D. y J. W. Lewis (eds). *Mapping Wildfire Hazards and Risks*. Food Products Press, NY, USA.

Harmon, M. E., D.F. Whigham, J. Sexton, I. Olmsted. 1995. Decomposition and Mass of Woody Detritus in the Dry Tropical Forests of Northeastern Yucatan Peninsula, México. *Biotropica*, 27(3): 305-316

Hughes, R.F., J.B. Kauffman, V.J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon, and nutrient accumulation in tropical evergreen secondary forest of the Los Tuxtlas region, Mexico. *Ecology* 80:1892-907.

Hughes, F., J.B. Kauffman, V.J. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Application*, 10:515-27.

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2006. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. INE. México DF.

INECC-CONAFOR, 2014. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para la categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura 1990-2013 Como parte del Informe Bienal de Actualización.

INEGI, 1996. Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie II, INEGI. México.

INEGI, 2005. Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie III. INEGI, México.

INEGI, 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie III. México. 77 p.

INEGI, 2010. Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie IV. INEGI, México.

INEGI, 2013. Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie V, INEGI. México.

IPCC, 2003. Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, RiittaPipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.

IPCC, 2006. Intergubernamental Panel on Climate Change.VOL. 4 Agricultura Silvicultura y Otros Usos de la Tierra. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

Jaramillo, V.J., J.B. Kauffman, L. Rentería-Rodríguez, D.L. Cummings, L.J. Ellingston. 2003 Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosystems*, 6: 609-629.

Kauffman, J. B., M.D. Steele, D.L. Cummings, V.J. Jaramillo, 2003. Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecology Management*, 176 (2003) 1-12.

Morales, A.H., J. Návar, P.A. Domínguez. 2000. The effect of prescribed burning on surface runoff in a pine forest stand of Chihuahua, México. *Forest Ecology and Management* 137, 199-207.

Navarrete, P.J.L. 2006. Estimación del contenido de Carbono en la biomasa leñosa muerta para diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo: el caso de la región Purépecha, Michoacán”. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.72 p.

Ordóñez, J.A.B., B.H.J. de Jong, F. García-Oliva, F.L. Aviña, J.V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez, O. Maser. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacán, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255 (2008) 2074–2084.

Ottmar, Roger D., R.E. Vihnanek, C.S. Wright, G.B. Seymour. 2007. Stereo photo series for quantifying natural fuels: volume IX: Oak/juniper types in southern Arizona and New Mexico. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-714. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 41p.

Ottmar, Roger D., R.E. Vihnanek, J.C. Regelbrugge. 2000. Stereo photo series for quantifying natural fuels. Volume IV: pinyon-juniper, sagebrush, and chaparral types in the Southwestern United States. PMS 833. Boise, ID: National Wildfire Coordinating Group, National Interagency Fire Center. 97 p.

Pérez, C.J.V. 2005. Estimación del contenido de Carbono en mantillo de diferentes tipos de cobertura vegetal y uso del suelo en la región Purépecha, Michoacán, México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 54 p.

Prichard, S.J.; R.D. Ottmar, G.K. Anderson. Consume user's guide v. 3.0. http://www.fs.fed.us/pnw/fera/research/smoke/consume/consume30_users_guide.pdf

Riccardi, C. L., R.D. Ottmar, D.V. Sandberg, A. Andreu, E. Elman, K. Kopper, J. Long. 2007. The fuelbed: a key element of the fuel Characteristic Classification System. *Canadian Journal of Forest Research*. 37: pp. 2394-2412

Rodríguez, T.D.A., P.A. Sierra. 1995. Evaluación de los combustibles forestales en los bosques del Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México*, 20(77): 197-218.

Romero, D.L.P. 2008. Diversidad y almacenes de Carbono y nitrógeno en bosques tropicales caducifolios secundarios de la región de Chamela, Jalisco, con diferentes historias de uso. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 93p.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México

Stephens, S.L. 2004. Fuel Loads, snag abundance, and snag recruitment in an unmanaged Jeffrey pine-mixed conifer forest in Northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 199 (2004) 103-113.

Velasco-Bautista, E., H. Ramírez-Maldonado, F. Moreno-Sánchez, A. de la Rosa. 2003. Estimadores de razón para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México. *Revista Ciencia Forestal*, Vol. 28, núm. 94.Pp 23-43.

Villers-Ruiz, M.L., Alvarado E., y J. Lopez-Blanco. 2001. Spatial patterns of fuels and fire behavior at the “La Malinche” National Park in Central Mexico In. Fourth

Symposium on Fire and Forest Meteorology. November 13-15, 2001. Salt Lake City, Utah. November.

Whigham, D.F., I. Olmsted, E. Cabrera-Cano, M.E. Harmon. 1991. The impact of Hurricane Gilbert on Trees, Litterfall, and Woody Debris in a Dry Tropical Forest in the Northeastern Yucatan Peninsula. *Biotropica* 23(4a): 434-441.

Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th ed. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.

10. Anexos

a) Degradación

La degradación en un ecosistema forestal es un concepto dependiente del fenómeno que se quiere medir. De forma general la ley de desarrollo forestal sustentable menciona que es “El proceso de disminución de la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios ambientales y su capacidad productiva”. En el contexto de mitigación al cambio climático en México, considerando a los bosques como un servicio ambiental que regula el ciclo del Carbono, la degradación según la ley general de cambio climático es la “Reducción del contenido de Carbono en la vegetación natural, ecosistemas o suelos, debido a la intervención humana, con relación a la misma vegetación ecosistemas o suelos, si no hubiera existido dicha intervención”.

Centrándonos en esta perspectiva se tomaron en consideración dos elementos en el cálculo de la estimación a nivel nacional. En primer lugar, considerar como una etapa primaria (definiéndola como una etapa de la vegetación predominantemente arbórea) a los grupos vegetales primarios y secundarios en fase arbórea que indican las series de cartográficas de INEGI, y se consideran como secundarios a las categorías con una etapa de desarrollo secundaria que se encuentran en una fase arbustiva y herbácea. Las subcategorías en tierras forestales primarias y secundarias se describen en la sección de la matriz de cambio o representación coherente de la tierra. De esta manera se cuenta con un criterio que la cartografía de las series INEGI detecta de manera visual como un área con pérdida en la densidad de la cobertura arbórea. De esta manera podemos saber que en esta área existió una pérdida de biomasa y Carbono entre cada matriz de cambio en las categorías de tierra forestal, como se ilustra en la diagonal donde se detecta degradación en la Figura 15.

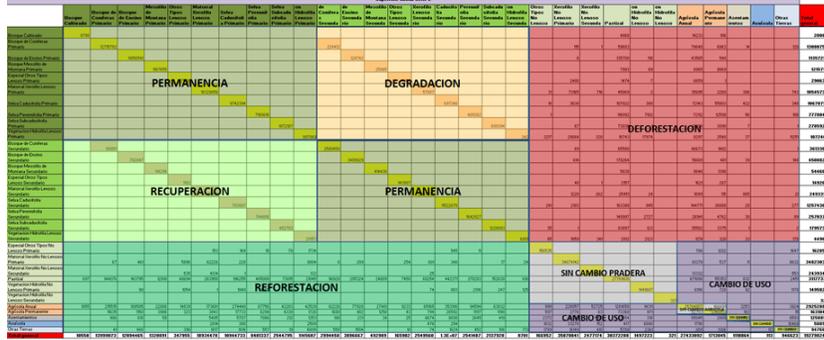


Figura 13. Matriz de cambio donde se identifica la degradación.

En segundo lugar, se usaron los datos del INFyS que compartían conglomerados en categorías de tierras forestales primarias que perdieron biomasa para construir un modelo de degradación, como se describe en la siguiente sección.

En el INFyS existen muy pocas parcelas para estimar robustamente los FE para las “Tierras Forestales” que pasaron a “Tierras Forestales Degradadas” (es decir para aquellas tierras que pasaron de una condición primaria a secundaria). Por lo que para obtener estos estimadores, se propuso desarrollar Modelos Lineales Proxi de los Pérdidas (MLPP), los cuales son ajustes de los promedios de la variable *decremento bruto de Carbono* a nivel de parcela recategorizados por los periodos de remediación. La variable *decremento bruto de Carbono* a nivel de parcela se construyó filtrando sólo los casos negativos de la variable *cambio bruto de Carbono a nivel de parcela* (para cada parcela se promediaron los *cambio bruto de Carbono* de sus sub-parcelas y esos promedios se expandieron a la hectárea) que se ilustra en la Figura 14.

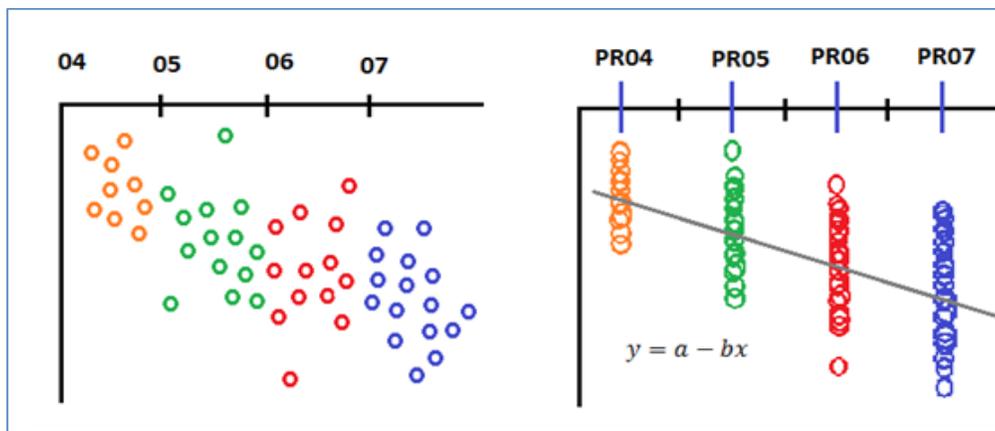


Figura 14. Proceso de desarrollo de los modelos lineales de pérdida. (a) Diagrama de dispersión del decremento bruto de Carbono a nivel de parcela (casos negativos del cambio bruto de Carbono a nivel de parcela). (b) Ilustración de la agrupación del decremento bruto de Carbono a nivel de parcela por categorías de remediación (diferencia absoluta de tiempo entre los años de medición-remediación) y ajuste lineal de sus promedios.

Posteriormente se procedió a categorizar las parcelas por “periodos entre remediciones”, esto quiere decir que en cada parcela se identificó el tiempo transcurrido entre remediciones (que puede variar de entre 1 y 7 años) y posteriormente esta variable continua se transformó a una variable categórica como se muestra en la Figura 14. Después en cada subcategoría se ajustó un modelo lineal a los promedios de los *decrementos brutos de Carbono* Figura 14. El parámetro de pendiente del modelo es la tasa de pérdida y es el valor que se utilizó como proxy para los FE de las tierras “Tierras Forestales” que pasaron “Tierras Forestales Degradadas”.

Como muestra el Cuadro 15 que contiene lo factores de emisión para degradación que se asignaron para cada año en las áreas donde las categorías de tierras forestales primarias pasaron a tierras forestales secundarias en la matriz de cambio.

Cuadro 15. FE por cambios utilizados para estimar emisiones por degradación.

Subcategoría	N	Carbono de la biomasa leñosa aérea (tonC/ha/año)	Carbono en Raíces (tonC/ha/año)
Bosque de Coníferas Primario	292	-0.09	-0.02
Bosque de Encio-Primario	818	-0.24	-0.06
Bosque Mesófilo-Primario	67	-0.26	-0.06
Especial Otros Tipos Leñosos-Primario	ND	ND	ND
Matorral Xerófilo Leñoso-Primario	501	-0.47	-0.12
Selva Caducifolia-Primario*	169	-2.21	-0.54
Selva Perenne-Primario	577	-1.94	-0.43
Selva SubCaducifolia-Primario	169	-2.21	-0.54
Vegetación Hidrófila Leñosa-Primario	43	-1.58	-0.36

* Se le asignó el factor obtenido para la selva subcaducifolia primaria debido a que presentó un comportamiento de aumento de Carbono en la pendiente del modelo y no concordaba con nuestro supuesto de pérdida de Carbono, tomando como criterio que es la categoría de vegetación más parecido en cuanto a composición y estructura.

Para cada área obtenida en el análisis espacial de matrices donde se determinó con un cambio de una categoría de tierra forestal primaria a tierra forestal secundaria, se le asignaron las tasas de pérdida anuales de toneladas de Carbono emitidas y se calcularon la emisiones transformándolas a dióxido de Carbono, para cada periodo entre las tres matrices de dinámica de cambio, que dieron como resultado emisiones anuales de 19, 872 Gg de 1993-2001, 8,696 Gg de 2002 a 2006 y 1,812 Gg de 2007 a 2010 . Presentando una marcada tendencia de disminución de emisiones por degradación. Lo que indica que la emisión dióxido de Carbono por un proceso de degradación basado en la densidad de la vegetación dominada por árboles, ha sido menor en los últimos dos periodos analizados.

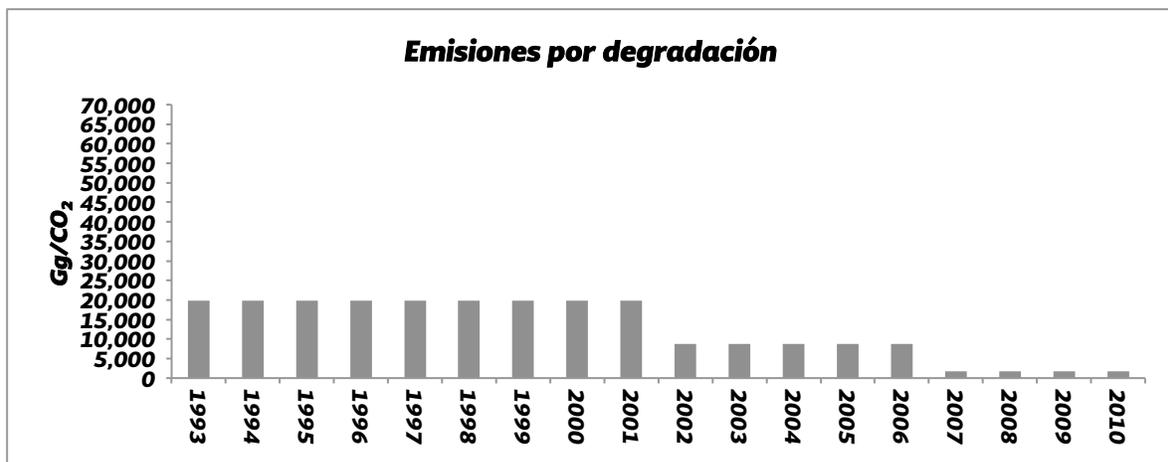


Figura 15. Emisiones históricas por degradación forestal.



SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

