



**NIVEL DE REFERENCIA  
DE EMISIONES FORESTALES  
DE MÉXICO  
(2007-2016)**



**Julio 2021**

# NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES DE MÉXICO (2007-2016) Modificado

México, julio 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

La Comisión Nacional Forestal agradece el valioso apoyo brindado por las diferentes iniciativas internacionales para fortalecer el Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación (SNMRV) de la institución, a través del cual ha sido posible la elaboración del presente Nivel de Referencia de Emisiones Forestales 2007-2016 de México. En especial, agradece al Ministerio de Asuntos Exteriores de Noruega por su contribución en el desarrollo de capacidades en materia de Monitoreo, Reporte y Verificación en el sector forestal. Además, también agradece al Banco Mundial, por su contribución en la consolidación e institucionalización del SNMRV. Al Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS, por sus siglas en inglés) y SilvaCarbon por sus valiosas aportaciones; así como a otras iniciativas internacionales, como la Agencia Espacial de Reino Unido (UKSA, por sus siglas en inglés) y el Banco de Crédito para la Reconstrucción (KfW, por sus siglas en alemán), cuyas colaboraciones han sido clave para incrementar los alcances del SNMRV.

## RESUMEN EJECUTIVO

<b>NREF propuesto</b>	20,245,016 toneladas CO <sub>2</sub> -eq/año
<b>Tipo y periodo de referencia del NREF</b>	Promedio histórico 2007-2016
<b>Ajustes al NREF por circunstancias nacionales</b>	No aplica
<b>Escala espacial</b>	Nacional
<b>Actividades REDD+ incluidas</b>	(a) <i>Reducción de emisiones por deforestación</i> (contabilidad de GEI: deforestación bruta)  Parcialmente (b) <i>Reducción de emisiones por degradación forestal</i> (contabilidad de GEI: degradación forestal absoluta)
<b>Reservorios incluidos</b>	Biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, mantillo y carbono orgánico en el suelo
<b>Gases incluidos</b>	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
<b>Definición de bosque</b>	Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición <i>in situ</i> , y con una extensión mínima de 1 ha.
<b>Consistencia con el último Inventario de GEI</b>	Cambios metodológicos, pero no se identifican contradicciones entre ambos reportes.
<b>Descripción de las políticas y planes relevantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estrategia Nacional de Cambio Climático</li> <li>- ENAREDD+</li> <li>- Proyecto de Bosques y Cambio Climático</li> <li>- PRONAFOR 2019-2024</li> <li>- Estrategia Nacional de Manejo Forestal Comunitario</li> </ul>
<b>Descripción de los supuestos sobre cambios futuros a las políticas nacionales</b>	No aplica
<b>Descripción de los cambios con respecto al NREF previo</b>	Se presenta cuadro comparativo y a lo largo del documento se explican los cambios
<b>Identificación de futuras mejoras técnicas</b>	Se presenta capítulo específico y a lo largo del documento se identifican futuras mejoras técnicas

## EXECUTIVE SUMMARY

<b>Proposed FREL</b>	20,245,016 ton CO <sub>2</sub> -eq/year
<b>Type and reference period of FREL</b>	Historical average 2007-2016
<b>Application of adjustment for national circumstances</b>	It does not apply
<b>Spatial scale</b>	National
<b>Activities included</b>	(a) <i>Reducing emissions from deforestation</i> (GHG accounting: gross deforestation)  Partially (b) <i>Reducing emissions from forest degradation</i> (GHG accounting: absolute forest degradation)
<b>Pools included</b>	Aboveground biomass, belowground biomass, dead wood, litter and Soil Organic Carbon.
<b>Gases included</b>	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )
<b>Forest definition</b>	Forest Lands with canopy cover greater than 10%, with woody species over 4 meters high, or capable of reaching that high, and with a minimum surface of 1 ha.
<b>Consistency with latest GHG inventory</b>	Methodological changes, but no contradictions between the two reports are identified.
<b>Description of relevant policies and plans</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- National Climate Change Strategy</li> <li>- National REDD+ Strategy</li> <li>- Forest and Climate Change Project</li> <li>- National Forestry Program 2019-2024</li> <li>- National Community Forest Management Strategy</li> </ul>
<b>Description of assumptions on future changes to domestic policies</b>	It does not apply
<b>Description of changes to previous FREL</b>	Comparative table is presented and the changes are explained throughout the document.
<b>Identification of future technical improvements</b>	Specific chapter is presented and future technical improvements are identified throughout the document

# CONTENIDO

<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>1</b>
<b>Índice de cuadros .....</b>	<b>3</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>2. CIRCUNSTANCIAS NACIONALES.....</b>	<b>10</b>
2.1. Características geográficas y biofísicas de México .....	10
2.2. Recursos forestales de México.....	13
2.3. Características socioeconómicas del sector forestal.....	14
2.4. Indicadores sobre manejo forestal sustentable en México.....	14
2.5. Deforestación y degradación forestal en México .....	15
2.6. Marco legal sobre bosques y cambio climático .....	17
2.7. Políticas y planes pertinentes para REDD+ .....	18
2.8. Arreglos institucionales de MRV para REDD+ .....	21
<b>3. ANTECEDENTES DEL ACTUAL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES.....</b>	<b>23</b>
3.1. Los Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI y el primer NREF .....	23
3.2. El Sistema Satelital de Monitoreo Forestal de México .....	25
3.2.1. Enfoque <i>wall-to-wall</i> .....	26
3.2.2. Enfoque de muestreo sistemático para el NREF .....	28
3.3. Enfoque escalonado para evaluar la dinámica de la cobertura forestal en México.....	29
<b>4. INFORMACIÓN TRANSPARENTE, COMPLETA, COHERENTE Y EXACTA.....</b>	<b>29</b>
4.1. Transparencia .....	29
4.2. Completitud.....	30
4.3. Coherencia o consistencia .....	30
4.4. Exactitud.....	30
<b>5. DEFINICIONES.....</b>	<b>31</b>
5.1. Definición de bosque .....	31
5.1.1. Definición legal .....	31
5.1.2. Definición IPCC.....	31
5.1.3. Definición operativa .....	31
5.1.4. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores .....	33
5.2. Definición de deforestación .....	35
5.2.1. Definición legal .....	35
5.2.2. Definición IPCC.....	35
5.2.3. Definición operativa .....	35
5.2.4. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores.....	36
5.3. Definición de degradación forestal .....	37
5.3.1. Definición legal.....	37
5.3.2. Definición operativa .....	37

5.3.3. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores.....	39
<b>6. ALCANCES DEL NREF .....</b>	<b>39</b>
6.1. Escala espacial.....	39
6.2. Periodo de referencia .....	40
6.3. Periodo de validez.....	42
6.4. Actividades REDD+ .....	42
6.5. Reservorios de carbono.....	44
<b>6.5.1. Carbono post-cambio (Deforestación y DFA).....</b>	<b>45</b>
6.6. Gases.....	45
<b>7. ENFOQUE METODOLÓGICO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES .....</b>	<b>46</b>
7.1. Estratificación de las tierras forestales de México.....	46
7.2. Cambios en las existencias de carbono por estrato (ecorregión) .....	47
7.3. Cambios en las existencias de carbono por reservorio con base en el método de “diferencia de existencias” .....	48
7.4. Aplicación práctica del método de “diferencia de existencias” .....	50
7.5. Enfoque de estimación de emisiones por deforestación y degradación forestal absoluta .....	51
7.6. Áreas de mejora futura para consolidar el enfoque de diferencia de existencias .....	54
<b>8. SUPERFICIES DE TIERRAS FORESTALES Y SU DINÁMICA .....</b>	<b>55</b>
8.1. Enfoque metodológico de estimación.....	55
8.1.1. Estimación de superficies de tierras forestales .....	56
8.1.2. Estimación de la dinámica de Tierras Forestales.....	91
8.2. Resultados de la dinámica de la superficie de Tierras Forestales de México .....	93
<b>9. EXISTENCIAS DE CARBONO EN LAS TIERRAS FORESTALES DE MÉXICO .....</b>	<b>109</b>
9.1. Proceso metodológico de estimación de las existencias anuales totales de carbono.....	109
9.1.1. Estimación del contenido de carbono en cada reservorio por unidad de área .....	109
9.1.2. Integración de las Matrices de Contenidos de Carbono por reservorio .....	148
9.1.3. Método de estimación de existencias anuales totales de carbono.....	158
9.2. Resultados de las existencias de carbono en las Tierras Forestales de México .....	164
9.2.1. Contenidos de carbono forestal por unidad de superficie .....	164
9.2.2. Existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México por ecorregión y reservorio .....	172
<b>10. EMISIONES POR DEFORESTACIÓN BRUTA Y DEGRADACIÓN FORESTAL ABSOLUTA .....</b>	<b>183</b>
10.1. Enfoque de estimación .....	183
10.1.1. Estimación de emisiones totales y sus incertidumbres.....	183
10.1.2. Estimación de emisiones por Degradación Forestal Absoluta y sus incertidumbres .....	186
10.1.3. Estimación de emisiones por Deforestación Bruta y sus incertidumbres.....	187
10.2. Resultados.....	187
10.2.1. Emisiones brutas de las Tierras Forestales .....	187
10.2.2. Emisiones por degradación forestal absoluta .....	195
10.2.3. Emisiones por deforestación bruta.....	198
10.2.4. Emisiones de Carbono por deforestación bruta y degradación forestal absoluta .....	201

**11. NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES ..... 203**  
11.1. Ajuste por circunstancias nacionales..... 203  
11.2. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales 2007-2016..... 203  
11.3. Análisis de incertidumbre..... 206  
**12. ÁREAS DE MEJORA Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES ..... 207**  
12.1. Áreas de Mejora ..... 207  
12.2. Fortalecimiento de capacidades..... 208  
**13. REFERENCIAS ..... 211**

## ACRÓNIMOS

<b>6ª CN</b>	Sexta Comunicación Nacional
<b>AH</b>	Asentamientos Humanos
<b>ANP</b>	Áreas Naturales Protegidas
<b>ATP</b>	Auditoría Técnica Preventiva
<b>AWS</b>	<i>Amazon Web Service</i>
<b>BUR*</b>	Informe Bienal de Actualización
<b>CDB</b>	Convenio sobre la Diversidad Biológica
<b>CF15</b>	15a Reunión del Fondo de Carbono
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CIMT</b>	Convenio Internacional de las Maderas Tropicales
<b>CITES</b>	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>CNUDL</b>	Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	Dióxido de Carbono Equivalente
<b>CONABIO</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
<b>CONAFOR</b>	Comisión Nacional Forestal
<b>COP*</b>	Conferencia de las Partes
<b>COS</b>	Carbono Orgánico en el Suelo
<b>CUSS</b>	Cambio de uso de suelo y silvicultura
<b>DA</b>	Datos de Actividad
<b>DFA</b>	Degradación forestal absoluta
<b>DFP</b>	Degradación forestal parcial
<b>ENAIPROS</b>	Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2013-2018
<b>ENAREDD+</b>	Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la deforestación y degradación de los bosques, la conservación de las reservas de carbono forestal, el manejo sustentable de los bosques y el aumento de las reservas de carbono en los países en desarrollo.
<b>ENCC</b>	Estrategia Nacional de Cambio Climático
<b>EPSC</b>	<i>European Petroleum Survey Group</i>
<b>ER</b>	Estimador de razón
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>FCPF-CF</b>	Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques
<b>FE</b>	Factores de Emisión
<b>FRA*</b>	Evaluación de Recursos Forestales Mundiales
<b>FSC</b>	<i>Forest Stewardship Council</i>
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>GyCEI</b>	Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
<b>H</b>	Humedales
<b>ICA*</b>	Consulta y Análisis Internacional
<b>IMAD-MAF</b>	<i>Iterative Multivariate Alteration Detection Transformation</i>
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Ecología (actualmente INECC)
<b>INECC</b>	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
<b>INEGEI</b>	Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>INEGyCEI</b>	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
<b>INFyS</b>	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
<b>IPCC*</b>	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
<b>IPED</b>	Índice de presión económica a la deforestación
<b>IRE</b>	Iniciativa de Reducción de Emisiones
<b>LANDSAT</b>	Constelación de satélites LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite)

<b>LGCC</b>	Ley General de Cambio Climático
<b>LGDFS</b>	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
<b>LSNIEG</b>	Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica
<b>MAD-Mex</b>	Software de procesamiento de imágenes de satélite
<b>MAE</b>	Muestreo Aleatorio Estratificado
<b>MFS</b>	Manejo Forestal Sustentable
<b>MLC</b>	Material Leñoso Caído
<b>MM</b>	Madera Muerta
<b>MRV</b>	Monitoreo, Reporte y Verificación
<b>MSE</b>	Muestreo Sistemático Estratificado
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso
<b>NDC*</b>	Contribución determinada a nivel nacional
<b>NMX</b>	Norma Mexicana
<b>NREF</b>	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>OT</b>	Otras Tierras
<b>P</b>	Praderas
<b>PBCC</b>	Proyecto de Bosques y Cambio Climático
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>PND</b>	Programa Nacional de Desarrollo
<b>PNF</b>	Programa Nacional Forestal
<b>PPR</b>	Pago por Resultados
<b>PROGAN</b>	Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola
<b>PRONAFOR</b>	Programa Nacional Forestal
<b>PSA</b>	Pago por Servicios Ambientales
<b>RapidEye</b>	Imágenes de la Constelación de Satélites RapidEye
<b>REDD+</b>	Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la deforestación y degradación de los bosques, la conservación de las reservas de carbono forestal, el manejo sustentable de los bosques y el aumento de las reservas de carbono en los países en desarrollo.
<b>RLGDFS</b>	Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
<b>SADER</b>	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (hoy SADER)
<b>SAMOF</b>	Sistema Satelital de Monitoreo Forestal
<b>SCUSyV</b>	Sistema de Clasificación de Uso de Suelo y Vegetación
<b>SEMARNAP</b>	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (actualmente SEMARNAT)
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SLIC</b>	<i>Fast Linear Iterative Clustering</i>
<b>SLICO</b>	<i>Simple Linear Iterative Clustering</i>
<b>SNMF</b>	Sistema Nacional de Monitoreo Forestal
<b>SNMRV</b>	Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación
<b>SQL*</b>	<i>Structured Query Language</i>
<b>TF</b>	Tierra Forestal
<b>TNF</b>	Tierra No Forestal
<b>UMM</b>	Unidad Mínima Mapeable
<b>UMP</b>	Unidades de Muestreo Primarias
<b>UMS</b>	Unidades de Muestreo Secundarias
<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México
<b>USCUSS</b>	Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura
<b>USFS*</b>	Servicio Forestal de los Estados Unidos
<b>USGS*</b>	Servicio Geológico de Estados Unidos
<b>USyV</b>	Uso de suelo y vegetación
<b>VTA</b>	Volumen Total Árbol
<b>WGS</b>	<i>World Geodetic System</i>

\* Por sus siglas en inglés

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Pilares del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal de México.....	22
<b>Cuadro 2.</b> Atribuciones y arreglos institucionales en materia de reportes de mitigación en el sector forestal de México.....	23
<b>Cuadro 3.</b> Mejoras e innovaciones metodológicas en el INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN y el BUR2.....	25
<b>Cuadro 4.</b> Características técnicas de los productos cartográficos del Sistema SAMOF.....	28
<b>Cuadro 5.</b> Tipos de uso de suelo y vegetación (USyV) de INEGI por clase del IPCC con base en sus características fisonómico-estructurales.....	32
<b>Cuadro 6.</b> Comparación entre las definiciones de Bosque empleadas en reportes anteriores con respecto al actual.....	34
<b>Cuadro 7.</b> Comparación de criterios de la definición de Bosque implementada entre la 6ª CN/BUR2 y el presente NREF.....	35
<b>Cuadro 8.</b> Comparación con definiciones de deforestación en reportes nacionales previos.....	36
<b>Cuadro 9.</b> Definición de degradación forestal en Reportes nacionales previos.....	39
<b>Cuadro 10.</b> Actividades REDD+ incluidas en el NREF, justificación y elementos de mejora .....	43
<b>Cuadro 11.</b> Reservorios por cada actividad REDD+ considerados en el NREF.....	45
<b>Cuadro 12.</b> Ecuación para la estimación de los cambios en las existencias anuales de carbono para las tierras forestales de México a partir de la estratificación en siete ecorregiones con base en la ecuación 2.2 (IPCC, 2006) .....	47
<b>Cuadro 13.</b> Ecuación para la estimación de los cambios en las existencias anuales de carbono para una ecorregión como la suma de los cambios de los depósitos incluidos en el NREF con base en la ecuación 2.3 (IPCC, 2006) .....	47
<b>Cuadro 14.</b> Método de diferencia de existencias (IPCC, 2006) para la estimación de los cambios en las existencias de carbono en cada reservorio del NREF según la diferencia anual de las existencias en dos años consecutivos.....	48
<b>Cuadro 15.</b> Abordaje de la contabilidad de los cambios en las existencias de carbono en el NREF según el tipo de dinámica o transición de las tierras forestales de México.....	52
<b>Cuadro 16.</b> Comparación del alcance y características metodológicas entre el primer NREF y el NREF actual.....	55
<b>Cuadro 17.</b> Superficie total y número de parcelas muestreadas por ecorregión y equidistancia.....	59
<b>Cuadro 18.</b> Criterios empleados para la caracterización de las categorías o clases de uso del suelo IPCC a nivel de parcela para el año 2016 empleando imágenes satelitales de alta y muy alta resolución.....	62
<b>Cuadro 19.</b> Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para las permanencias de tierras forestales entre 2000-2016.....	68
<b>Cuadro 20.</b> Criterios específicos de fotointerpretación para la identificación de la DFA (etiqueta TFd o FLd) como caso particular de las permanencias de tierras forestales entre 2000-2016.....	70
<b>Cuadro 21.</b> Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para la transición TF-TNF-TF entre 2000-2016.....	74
<b>Cuadro 22.</b> Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para los cambios de uso del suelo (deforestación y reforestación/recuperación) entre 2000-2016.....	77
<b>Cuadro 23.</b> Criterios específicos utilizados para ajustar la Matriz Multitemporal de Categorías IPCC dependiendo de la conversión de uso del suelo o transición entre categorías IPCC durante el periodo 2000-2016.....	85
<b>Cuadro 24.</b> Número de parcelas muestreadas y deforestadas por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 - 2016 .....	94
<b>Cuadro 25.</b> Número de parcelas muestreadas y degradadas por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 - 2016 .....	95
<b>Cuadro 26.</b> Superficie anual estimada de categorías IPCC por ecorregión en el periodo 2000 – 2016.....	96
<b>Cuadro 27.</b> Incertidumbre de la superficie anual estimada de las categorías IPCC por ecorregión en el periodo 2000 – 2016 .....	98
<b>Cuadro 28.</b> Superficie anual deforestada por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 – 2016.....	106
<b>Cuadro 29.</b> Superficie anual degradada por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 – 2016.....	108

<b>Cuadro 30.</b> Referencia de principales modelos alométricos utilizados en la estimación de biomasa a nivel de observación.....	115
<b>Cuadro 31.</b> Tipos de densidad de la madera por registro.....	118
<b>Cuadro 32.</b> Fracciones de carbono por especie, genero o tipo de vegetación.....	119
<b>Cuadro 33.</b> Relación biomasa subterránea/biomasa aérea (R). Tomado del cuadro 4.4 de las Guías IPCC (2006).....	127
<b>Cuadro 34.</b> Valores para México de relación biomasa subterránea/biomasa aérea (R). Tomado del cuadro 4.4 de las Guías IPCC (2006).....	128
<b>Cuadro 35.</b> Factor de ponderación de la densidad de la madera de acuerdo con el estado de putrefacción de los tocones.....	135
<b>Cuadro 36.</b> Clasificación del combustible por tamaño y tiempo de respuesta o retardo.....	137
<b>Cuadro 37.</b> Factor de ponderación de la densidad de la madera de acuerdo con el estado de putrefacción del MLC mayor a 7.5 cm de diámetro.....	138
<b>Cuadro 38.</b> Conglomerados muestreados (accesibles) con información de mantillo (hojarasca y capa de fermentación).....	146
<b>Cuadro 39.</b> Dinámicas generales y específicas incluidas en el periodo 2000 – 2016.....	149
<b>Cuadro 40.</b> Factores de cambio de las existencias de carbono por dinámica de cambio.....	156
<b>Cuadro 41.</b> Descripción de casos de ocurrencia de DFP y efectos en el presente NREF.....	158
<b>Cuadro 42.</b> Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa aérea por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	166
<b>Cuadro 43.</b> Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa aérea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	166
<b>Cuadro 44.</b> Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	167
<b>Cuadro 45.</b> Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	167
<b>Cuadro 46.</b> Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa aérea y subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	168
<b>Cuadro 47.</b> Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa aérea y subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	168
<b>Cuadro 48.</b> Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en madera muerta por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	169
<b>Cuadro 49.</b> Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en madera muerta por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	169
<b>Cuadro 50.</b> Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en mantillo por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	170
<b>Cuadro 51.</b> Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en mantillo por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	170
<b>Cuadro 52.</b> Estimadores de razón del contenido de carbono orgánico en el suelo de Tierras Forestales por unidad de superficie de cada sub-estrato (ton C/ha).....	171
<b>Cuadro 53.</b> Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono orgánico en suelos de Tierras Forestales por unidad de superficie de cada sub-estrato (%).....	171
<b>Cuadro 54.</b> Existencias de Carbono Forestal en biomasa aérea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas).....	177
<b>Cuadro 55.</b> Incertidumbre de las existencias de carbono forestal en biomasa aérea ecorregión y equidistancia de muestreo.....	177
<b>Cuadro 56.</b> Existencias de carbono forestal en biomasa subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas).....	178
<b>Cuadro 57.</b> Incertidumbre de las existencias de carbono forestal en biomasa subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo.....	178
<b>Cuadro 58.</b> Existencias de carbono forestal en biomasa aérea y subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas).....	179
<b>Cuadro 59.</b> Incertidumbre de las existencias de carbono forestal en biomasa aérea y subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo.....	179
<b>Cuadro 60.</b> Existencias anuales de carbono para madera muerta por tipo de ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas).....	180

<b>Cuadro 61.</b> Incertidumbre de las existencias anuales de Carbono para madera muerta por tipo de ecorregión, equidistancia de muestreo y categoría IPCC .....	180
<b>Cuadro 62.</b> Existencias del contenido de carbono orgánico en mantillo por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas).....	181
<b>Cuadro 63.</b> Incertidumbre de las existencias del contenido de carbono orgánico en mantillo por ecorregión y equidistancia de muestreo.....	181
<b>Cuadro 64.</b> Existencias del contenido de carbono orgánico en Suelos por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas).....	182
<b>Cuadro 65.</b> Incertidumbre de las existencias del contenido de carbono orgánico en suelos por ecorregión y equidistancia de muestreo.....	182
<b>Cuadro 66.</b> Información de las parcelas representadas en la Figura 30-b .....	185
<b>Cuadro 67.</b> Existencias de Carbono a nivel nacional de los 5 reservorios incluidos en el NREF .....	193
<b>Cuadro 68.</b> Emisiones brutas provenientes de las Tierras Forestales de México por reservorio para el periodo 2000-2016 (ton C).....	194
<b>Cuadro 69.</b> Emisiones brutas de Tierras Forestales, de degradación forestal absoluta y de deforestación bruta en el periodo 2001-2016.....	199
<b>Cuadro 70.</b> Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016) .....	203

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Matorrales xerófilos .....	10
<b>Figura 2.</b> Bosques templados de coníferas y latifoliadas .....	11
<b>Figura 3.</b> Bosques tropicales caducifolios.....	11
<b>Figura 4.</b> Pastizales.....	11
<b>Figura 5.</b> Bosques tropicales perennifolios.....	12
<b>Figura 6.</b> Humedales (Manglares).....	12
<b>Figura 7.</b> Bosques mesófilos de montaña .....	12
<b>Figura 8.</b> Proceso del enfoque del Sistema SAMOF .....	27
<b>Figura 9.</b> Post-estratificación del muestreo sistemático, basada en los mapas de coberturas y cambios de coberturas del Sistema SAMOF. Fuente: Olofsson, 2018. ....	29
<b>Figura 10.</b> La “degradación forestal absoluta” representa una porción de la degradación forestal. ....	37
<b>Figura 11.</b> Criterios para la identificación de Deforestación y Degradación forestal absoluta.....	38
<b>Figura 12.</b> Área de contabilidad del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México.....	40
<b>Figura 13.</b> Ilustración del proceso de desagregación de las emisiones por deforestación bruta y por degradación forestal absoluta, a partir del método de diferencia de existencias usado en el NREF... 53	
<b>Figura 14.</b> Estimación de superficies por medio de proporcionesPara el caso del presente documento, la descripción del “Área de contabilidad” se muestra en la siguiente sección, la descripción del procedimiento empleado para obtener los “Puntos de muestreo” se describe en la sección de “Insumos utilizados para la estimación de Tierras Forestales” y el procedimiento específico para estimar las superficies anuales de las categorías IPCC se describe en la sección de “Metodología empleada para la estimación de superficies de Tierras Forestales”. ....	56
<b>Figura 15.</b> Ecorregiones terrestres de México (nivel I).....	57
<b>Figura 16.</b> Patrón de distribución de los CGL del INFyS en 3 estratos (5X5km, 10X10km y 20X20km)..	58
<b>Figura 17.</b> Diseño de las unidades de muestreo (parcelas).....	60
<b>Figura 18.</b> Determinación del número de clases INEGI en la parcela (la cobertura de cada clase debe estar asociada a un polígono continuo $\geq 1$ ha).....	61
<b>Figura 19.</b> Asignación de una sola clase INEGI a la parcela fotointerpretada con base en la dominancia (>50% de cobertura de una clase) entre clases identificadas. En el ejemplo: Tierras Forestales (clase dominante >50 %) vs Praderas (clase 2).....	66
<b>Figura 20.</b> Procedimiento para la identificación del año específico de cambio de categoría IPCC (ejemplo: deforestación) y/o cambio de cobertura mediante el análisis multitemporal de imágenes Landsat .....	83
<b>Figura 21.</b> (a) Diagrama con las áreas hipotéticas de un país dividido en tres ecorregiones y con tres intensidades de muestreo, (b) Diagrama con la representación de un área hipotética de una ecorregión-intensidad de muestreo con 25 parcelas con las Categorías IPCC identificadas. ....	90
<b>Figura 22.</b> Superficie anual estimada de las 6 categorías IPCC en el periodo 2000 – 2016.....	100
<b>Figura 23.</b> Superficie anual de Permanencia de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016.....	100
<b>Figura 24.</b> Superficie anual de deforestación bruta en el periodo 2001 - 2016.....	101
<b>Figura 25.</b> Superficie anual de degradación forestal absoluta en el periodo 2001 - 2016.....	103
<b>Figura 26.</b> Superficie anual de deforestación bruta y degradación forestal absoluta en el periodo 2001 – 2016 .....	103
<b>Figura 27.</b> Comparación de datos de deforestación bruta obtenidos en el presente NREF, el INEGyCEI-USCUSS 6 <sup>a</sup> CN/BUR2 y el NREF 2015 .....	104
<b>Figura 28.</b> Forma de los conglomerados del INFyS en (a) bosques templados, comunidades áridas, comunidades semiáridas y palmares y, (b) Selvas altas, medianas, bajas, peten, selva de galería, manglar, popal, tular y vegetación halófila-hidrófila.....	111
<b>Figura 29.</b> Esquema de integración de bases de datos del INFyS.....	112
<b>Figura 30.</b> Árbol de decisión para la selección de modelos alométricos de biomasa. "A" es la ruta de estimación estándar. "B" corresponde a la ruta de estimación que sigue cada uno de los niveles. Los criterios de selección se utilizan como criterio de desempate cuando es posible asignar más de un modelo que cumpla con los criterios por nivel.....	123
<b>Figura 31.</b> Estimación de la biomasa aérea a nivel de sitio .....	125
<b>Figura 32.</b> Estimación de la biomasa de la madera muerta total (muertos en pie) a nivel de sitio.....	133
<b>Figura 33.</b> Estimación de la biomasa de la madera muerta total (tocones) a nivel de sitio .....	136

<b>Figura 34.</b> Esquema general del diseño de muestreo al interior de un solo sitio (preferentemente el sitio 3) de cada conglomerado del INFyS, utilizado para registro y colecta de material leñoso caído, suelo y mantillo (hojarasca y capa de fermentación).....	142
<b>Figura 35.</b> Porcentajes de humedad promedio de la capa de hojarasca por clase de vegetación BUR e IPCC.....	144
<b>Figura 36.</b> Porcentajes de humedad promedio de la capa de fermentación por clase de vegetación BUR e IPCC.....	145
<b>Figura 37.</b> Mapa de Carbono Orgánico en Suelos (Guevara et al., 2000a).....	147
<b>Figura 38.</b> Ejemplo de asignación de COS a nivel de CGL (1 ha).....	148
<b>Figura 39.</b> Priorización del valor del remuestreo cuando hay dos ciclos de INFyS.....	150
<b>Figura 40.</b> Asignación del valor de muestreo del INFyS, cuando solo se dispone de él.....	150
<b>Figura 41.</b> Valores null o sin dato en tierras forestales, cuando no hay valores de los ciclos de INFyS.....	150
<b>Figura 42.</b> Valor por defecto en tierras no forestales, cuando no hay valores del INFyS.....	151
<b>Figura 43.</b> Asignación de valores del muestreo y remuestreo del INFyS, antes y después del cambio respectivamente.....	151
<b>Figura 44.</b> Asignación de valor del muestreo del INFyS antes del cambio y valor de cero en tierras no forestales después del cambio.....	152
<b>Figura 45.</b> Valores null cuando hay o no valores del INFyS después del cambio.....	152
<b>Figura 46.</b> Valores null cuando no hay datos del INFyS previo y posterior al cambio.....	152
<b>Figura 47.</b> Priorización del valor del remuestreo previo al cambio y valor por defecto (cero) posterior al cambio.....	152
<b>Figura 48.</b> Asignación del valor del remuestreo del INFyS previo al cambio y valor por defecto (cero) posterior al cambio.....	152
<b>Figura 49.</b> Asignación de valores cero del muestreo y remuestreo antes y después del cambio, respectivamente.....	153
<b>Figura 50.</b> Asignación del valor del remuestreo del INFyS mayor a cero.....	153
<b>Figura 51.</b> Asignación del valor del remuestreo del INFyS igual a cero.....	153
<b>Figura 52.</b> Asignación del valor del por defecto (cero) a tierras no forestales.....	154
<b>Figura 53.</b> Asignación de valor NULL o sin dato en tierras forestales.....	154
<b>Figura 54.</b> Asignación del valor del remuestreo mayor a cero antes del cambio y valor por defecto (cero) posterior al cambio.....	154
<b>Figura 55.</b> Asignación del valor del remuestreo igual a cero antes del cambio y valor por defecto (cero) posterior al cambio.....	155
<b>Figura 56.</b> Asignación del valor NULL cuando se tiene valor del INFyS posterior al cambio, pero no antes.....	155
<b>Figura 57.</b> Asignación de valor NULL o sin dato en tierras no forestales, cuando no se cuenta con información del INFyS.....	155
<b>Figura 58.</b> Asignación de valor de COS constante en toda la serie temporal.....	155
<b>Figura 59.</b> Ejemplo de asignación de contenido de carbono a la serie temporal utilizando factores de cambios de existencias.....	157
<b>Figura 60.</b> Proceso de construcción de la Matriz de Contenidos de Carbono para cada reservorio ..	159
<b>Figura 61.</b> Diagrama con la representación de la combinación de la (a) “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC” con la (b) “Matriz de Contenidos de Carbono de la BA”. En la Figura 61-b el conjunto de 4 puntos representa un conglomerado del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, donde cada punto tiene una superficie de 0.04 ha y, por lo tanto el conglomerado tiene una superficie de 0.16 ha. ....	162
<b>Figura 62.</b> (a) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas Categorías IPCC identificadas a nivel de parcela (b) Tabla con la información de las parcelas representadas en la <b>Figura 61-a</b> .....	163
<b>Figura 63.</b> Existencias anuales de carbono en biomasa aérea de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016.....	172
<b>Figura 64.</b> Existencias anuales de carbono en biomasa subterránea de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016.....	173
<b>Figura 65.</b> Existencias anuales de carbono en madera muerta de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 – 2016.....	173

<b>Figura 66.</b> Existencias anuales de carbono en mantillo de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 – 2016.....	174
<b>Figura 67.</b> Existencias anuales de Carbono en Suelos de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016.....	175
<b>Figura 68.</b> Existencias anuales de Carbono total en Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016.....	176
<b>Figura 69.</b> (a) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas Categorías IPCC identificadas a nivel de parcela en 2007 y (b) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas Categorías IPCC identificadas a nivel de parcela en 2008.....	184
<b>Figura 70.</b> Emisiones brutas de la biomasa aérea de las Tierras Forestales de México (2001-2016) .....	188
<b>Figura 71.</b> Emisiones brutas de la biomasa subterránea de las Tierras Forestales de México (2001-2016) .....	189
<b>Figura 72.</b> Emisiones brutas de la madera muerta de las Tierras Forestales de México (2001-2016) ..	190
<b>Figura 73.</b> Emisiones brutas de mantillo de las Tierras Forestales de México (2001-2016).....	191
<b>Figura 74.</b> Emisiones brutas de COS de las Tierras Forestales de México (2001-2016) .....	191
<b>Figura 75.</b> Emisiones brutas de carbono de las Tierras Forestales de México (2001-2016) .....	192
<b>Figura 76.</b> Existencias de carbono en biomasa aérea en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016.....	195
<b>Figura 77.</b> Existencias de carbono en biomasa subterránea en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 – 2016.....	195
<b>Figura 78.</b> Existencias de carbono en madera muerta en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016.....	196
<b>Figura 79.</b> Existencias de carbono en mantillo en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016.....	196
<b>Figura 80.</b> Existencias de carbono orgánico en el suelo en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016.....	197
<b>Figura 81.</b> Existencias de Carbono total en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016.....	197
<b>Figura 82.</b> Emisiones totales de carbono por tipo de reservorio por degradación forestal absoluta en el periodo 2001-2016.....	198
<b>Figura 83.</b> Emisiones totales de carbono por degradación forestal absoluta en el periodo 2001-2016 .....	198
<b>Figura 84.</b> Emisiones de Carbono por deforestación bruta en el periodo 2000-2016.....	200
<b>Figura 85.</b> Emisiones de Carbono por Deforestación bruta por reservorio en el periodo 2001-2016..	201
<b>Figura 86.</b> Emisiones de Carbono por deforestación bruta y degradación forestal absoluta (periodo 2000-2016).....	202
<b>Figura 87.</b> Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por deforestación bruta y degradación forestal absoluta .....	204
<b>Figura 88.</b> Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por deforestación bruta .....	205
<b>Figura 55.</b> Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por degradación forestal absoluta .....	206

## 1. INTRODUCCIÓN

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue firmada por el Gobierno de México el 13 de junio de 1992 y aprobada unánimemente por el Congreso de México en diciembre del mismo año. Tras la aprobación del senado, la CMNUCC fue ratificada ante la Organización de las Naciones Unidas el 11 de marzo de 1993 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994.

Desde entonces, México ha logrado hitos que reflejan su compromiso de mitigación y adaptación al cambio climático. Uno de esos hitos fue la presentación de la Contribución determinada a Nivel Nacional (NDC), suscrita por México en 2015 como parte del Acuerdo de París. Las metas de la NDC han sido incorporadas a la Ley General de Cambio Climático, lo que demuestra el compromiso del país por continuar con los esfuerzos de mitigación y adaptación a los impactos del cambio climático.

México reconoce que el sector forestal es clave para la consecución de las metas de la NDC, tanto de mitigación como de adaptación, a las que el país se comprometió. Las metas específicas de mitigación de la NDC para el sector forestal reflejan el nivel de importancia que tiene la reducción de la deforestación bruta y el papel del manejo forestal comunitario en la mitigación del cambio climático. De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) de la Sexta Comunicación Nacional (6ª CN) ante la CMNUCC, el sector Tierra (fundamentalmente el sector forestal), emitió 20 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) en 2015, pero absorbió 169 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq en ese mismo año. Estas cifras brindan una idea del potencial de mitigación que alberga este sector.

En este contexto, y considerando los Acuerdos de la Décimo Sexta Conferencia de las Partes (COP16) de la CMNUCC, el Gobierno de México, liderado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), impulsó la construcción participativa de la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (ENAREDD+) (CONAFOR, 2017a). Desde su publicación en 2017, la ENAREDD+ busca articular, en un marco de coordinación interinstitucional, un conjunto de políticas públicas que promuevan acciones de mitigación y adaptación a través de un manejo integral del territorio para lograr un desarrollo rural sustentable bajo en carbono y resiliente.

Para continuar consolidando el proceso para la Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la deforestación y degradación de los bosques, la conservación de las reservas de carbono forestal, el manejo sustentable de los bosques y el aumento de las reservas de carbono (REDD+) en México, y considerando las decisiones 1/CP.16 y 12/CP.17, México saluda la oportunidad de someter una nueva propuesta de Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF), en el que se han incorporado metodologías mejoradas, datos actualizados y mejorados, así como actividades REDD+ y reservorios de carbono adicionales.

Este documento fue elaborado por la CONAFOR y presenta los insumos, enfoques, métodos, procedimientos de estimación y resultados del NREF actualizado y, junto con su Anexo Metodológico, ha sido integrado siguiendo las orientaciones del Anexo de la decisión 12/CP.17 y las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) (IPCC, 2006).

El presente documento también incluye un diagnóstico de las principales circunstancias nacionales relacionadas con REDD+ y de las políticas y planes relevantes para la mitigación del cambio climático en el sector forestal. También contiene una síntesis de los antecedentes de este NREF, que es de utilidad para contextualizarlo.

## 2. CIRCUNSTANCIAS NACIONALES

### 2.1. Características geográficas y biofísicas de México

México es una república federal, representativa, democrática y laica, integrada por 32 entidades federativas: 31 estados libres y soberanos, y la Ciudad de México (INECC-SEMARNAT, 2018a). La superficie continental de México es de 1,960,189 km<sup>2</sup> (INEGI, 2016a). En el territorio mexicano concurren dos grandes zonas biogeográficas: la Neártica, que contribuye con una gran representación de las especies de las zonas templadas del mundo, y la Neotropical, que aporta muchos elementos de la zona tropical, provenientes de la Cuenca Amazónica (Sarukhán *et al.*, 2017).

En México se presentan casi todos los climas del planeta, lo que aunado a su accidentada topografía y compleja geología permite que se desarrollen prácticamente todos los ecosistemas terrestres presentes en el mundo. México es uno de los países con mayor número de especies animales y vegetales, ocupando el cuarto lugar como país “megadiverso”. La proporción de especies presentes en nuestro país respecto al total conocido es sensiblemente mayor (alrededor de 10 a 12 por ciento) que la proporción de superficie terrestre que México representa del total mundial (1.4%). México combina esa elevada diversidad biológica con una gran riqueza cultural. Además, también destaca por su riqueza de endemismos y por la gran variabilidad genética mostrada en muchos grupos taxonómicos, resultado de la evolución o diversificación natural y cultural en el país (Sarukhán *et al.*, 2017).

Con la finalidad de estudiar esta variabilidad biológica y de desarrollar políticas públicas que incluyan escalas espaciales adecuadas y que consideren la dinámica ambiental, México ha sido dividido en siete grandes ecozonas o ecorregiones terrestres, que son unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos (INEGI-CONABIO-INE, 2008). Una descripción detallada puede encontrarse en la sección 7.1.

Con base en la propuesta de categorización de las comunidades vegetales, presentada por Challenger y Soberón (2008), en la que a partir de las clasificaciones de tipos de vegetación hechas por Rzedowski (1978), Miranda y Hernández (1963) y la clasificación del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (INEGI, 2005), en México se desarrollan siete categorías principales de vegetación natural. Considerando la Serie VI de la carta de Uso de Suelo y Vegetación (USyV) del INEGI (2017a), estas categorías principales se distribuyen como sigue: (i) la mayor parte de la superficie del país está cubierta por matorrales xerófilos (**Figura 1**) con 587,861.8 km<sup>2</sup>, (ii) seguido de los bosques templados de coníferas y latifoliadas (**Figura 2**) con 324,006.6 km<sup>2</sup>, (iii) Bosques tropicales caducifolios (**Figura 3**) con 202,226.6 km<sup>2</sup>, (iv) Pastizales (**Figura 4**) con 116,468.6 km<sup>2</sup>, (v) Bosques tropicales perennifolios (**Figura 5**) con 99,061.4 km<sup>2</sup>, (vi) Humedales (**Figura 6**) con 27,730.2 km<sup>2</sup> y (vii) Bosques mesófilos de montaña (**Figura 7**) con una superficie de 17,974 km<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Matorrales xerófilos



**Figura 2.** Bosques templados de coníferas y latifoliadas



**Figura 3.** Bosques tropicales caducifolios



**Figura 4.** Pastizales



**Figura 5.** Bosques tropicales perennifolios



**Figura 6.** Humedales (Manglares)



**Figura 7.** Bosques mesófilos de montaña

## 2.2. Recursos forestales de México

Según CONAFOR (2018), con base en la Carta de USyV del INEGI (Serie VI-año base 2014) (INEGI, 2017a), México cuenta con 137,845,137 hectáreas (ha) de superficie forestal, que equivale al 70% de la superficie continental del país (196,018,900 ha). La superficie forestal corresponde al área total de “vegetación forestal”, tanto en estado sucesional de vegetación primaria como de vegetación secundaria. La superficie con “vegetación forestal arbolada”, que se concentra principalmente en los ecosistemas de bosques, selvas y manglares, asciende a 65,706,727 ha, lo que representa casi el 50% de la superficie forestal total. Con base en los datos de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015 (FRA por sus siglas en inglés) (FAO, 2014) y datos de población reportados por el Banco Mundial para 2015 (CONAFOR, 2019), la superficie forestal per-cápita estimada es de 0.5 ha/habitante.

El concepto de “bosque” o “tierras forestales” (*sensu* IPCC, 2006), que México usa tanto para los NREF como para los Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), es más amplio que el concepto de “vegetación forestal arbolada” pero más restringido que el de “vegetación forestal”. México considera como “tierras forestales” a toda la superficie con vegetación leñosa que incluye, además de la “vegetación forestal arbolada”, a los matorrales xerófilos leñosos y la vegetación hidrófila leñosa. Este concepto de tierras forestales tomó en cuenta las recomendaciones del proceso de consulta de la ENAREDD+ y fue construido para cumplir con los objetivos de dicha estrategia de manera incluyente. En la sección 5.1 se hace un análisis más detallado sobre la definición de bosque utilizada en el presente NREF y su grado de consistencia con la definición de otros reportes.

La superficie de bosques (o tierras forestales), basada en la Carta de USyV del INEGI (Serie V-año base 2011) (INEGI, 2013), que fue considerada para la elaboración del NREF anterior y para el INEGEI del 1<sup>er</sup> Informe Bienal de Actualización (IBA1 o BUR1 por sus siglas en inglés) (INECC-SEMARNAT, 2015) asciende a 88,078,158 ha. La superficie de tierras forestales, basada en la Carta de USyV del INEGI (Serie VI-año base 2014) (INEGI, 2016b), utilizada en el INEGyCEI-USCUSS (Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura) (INECC-CONAFOR, 2018) de la 6<sup>a</sup> CN y el 2<sup>do</sup> Informe Bienal de Actualización (BUR2) (INECC-SEMARNAT, 2018a) asciende a 87,963,457 ha. En ambos casos, la superficie de bosque se refiere al área mapeada de tierras forestales de los mapas de cobertura o Series de USyV del INEGI.

Como parte del INEGyCEI-USCUSS de la 6<sup>a</sup> CN, se llevó a cabo un análisis de incertidumbre de los datos de actividad. Este análisis dio como resultado una superficie de tierras forestales que permanecen como tierras forestales (entre la Serie V y la Serie VI del INEGI) equivalente a 97,435,222 ha. Este dato de superficie forestal podía considerarse la cifra menos sesgada de tierras forestales en el país, hasta antes del presente reporte.

Uno de los resultados más importantes de este NREF actualizado, es la superficie de tierras forestales del país, estimada a través de un muestreo sistemático, que asciende a 98,356,276 ha en 2014. Esta cifra es cercana a la cifra de permanencias de tierras forestales de la 6<sup>a</sup> CN mencionada arriba. La coincidencia adquiere mayor relevancia si se toma en cuenta que ambos datos provienen de metodologías diferentes, pero utilizan el mismo concepto de bosque.

Por otro lado, las existencias volumétricas totales de madera en el país, presentes en la vegetación forestal arbolada, ascienden a 3,731 millones de m<sup>3</sup> de madera en rollo en pie, con base en el último ciclo de muestreo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2009-2014 (CONAFOR, 2018). De esta cifra, 2,026 millones corresponden a vegetación primaria y 1,705 millones a vegetación secundaria. La contribución más significativa proviene de las siguientes formaciones forestales: (i) selvas altas y medianas en estado sucesional secundario, (ii) bosque de coníferas y latifoliadas en estado primario, y (iii) bosque de coníferas en estado primario.

El incremento anual total de madera en los ecosistemas de bosques de coníferas, bosques de coníferas y latifoliadas, bosques de latifoliadas y bosque mesófilo de montaña del país es de

46,771,818 m<sup>3</sup>/año. Es importante resaltar que esta estimación se refiere exclusivamente a géneros de coníferas (Abies, Cupressus, Juniperus, Picea, Pinus y Pseudotsuga) (CONAFOR, 2018).

De acuerdo con el INEGYCEI-USCUSS (1990-2015) (INECC-CONAFOR, 2018) de la 6ª CN y el 2º BUR ante la CMNUCC, el sector 3B Tierra, fundamentalmente representado por los ecosistemas forestales del país, absorbió 169 millones de t de CO<sub>2</sub> -eq en el año 2015. En ese mismo año, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de dicho sector fueron de 20 millones de t de CO<sub>2</sub> -eq, lo que implica que el sector Tierra es un sumidero neto capaz de absorber 149 millones de t de CO<sub>2</sub> -eq.

### **2.3. Características socioeconómicas del sector forestal**

Las áreas forestales de México están habitadas por 10.91 millones de personas de acuerdo con datos del Censo de Población y Vivienda de 2010 del INEGI. Esta cifra, que representa casi el 10% de la población mexicana, está concentrada principalmente en los estados del sur del país, como Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Veracruz y Puebla.

En México se reconocen tres regímenes de tenencia de la tierra: (i) pública, que corresponde a los terrenos propiedad del estado; (ii) privada, aquella que la nación otorga a particulares; y (iii) social, constituida por los núcleos agrarios (ejidos y comunidades) y que cubre el 53% de la superficie total del país (CONAFOR, 2019). De un total de 29,464 núcleos agrarios en el país, 15,584 pueden considerarse como ejidos y comunidades forestales, los cuales tienen la propiedad de 62.6 millones de ha de bosques, selvas y vegetación forestal de zonas áridas (CONAFOR, 2017a).

México es también una nación pluricultural y multilingüe: existen al menos 68 pueblos indígenas descendientes de poblaciones que habitaban el país antes de la llegada de los españoles y que tienen como rasgos comunes el uso de sus lenguas, valores y sistemas sociales, políticos y normativos en torno a los cuales organizan su vida y toman sus decisiones. La relación que existe entre los ecosistemas forestales y las poblaciones indígenas es muy estrecha, ya que en la mayor parte de los territorios donde habitan los pueblos indígenas se encuentran los tipos de vegetación forestal más importantes (CONAFOR, 2017a). En los ecosistemas forestales habitan 3.42 millones de personas que forman parte de hogares catalogados como indígenas, y que se concentran en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Puebla e Hidalgo (CONAFOR, 2019).

El Producto Interno Bruto (PIB) del sector forestal en 2017 fue de 43,002 millones de pesos (0.23% del PIB Nacional), con una variación anual de la producción forestal del 4%. El PIB forestal se distribuye como sigue: 25,795 millones de pesos generados por el subsector de la industria de la madera, y 17,207 millones de pesos correspondientes al subsector de fabricación de pulpa, papel y cartón (CONAFOR, 2019).

La producción forestal maderable en 2018 ascendió a 8.5 millones de m<sup>3</sup> de madera en rollo. La producción no maderable en 2017 fue de 226,727 toneladas. El indicador de consumo aparente de productos forestales maderables en 2017 registró 27.3 millones de m<sup>3</sup> de madera en rollo total árbol. La balanza comercial de productos forestales exhibió un déficit de 6,165 millones de dólares en 2017. En 2016 se reportaron 166,664 empleos en el sector forestal, 50,639 en aprovechamientos forestales y actividades relacionadas, y 116,025 en la industria de la madera (CONAFOR, 2019).

### **2.4. Indicadores sobre manejo forestal sustentable en México**

La superficie bajo manejo forestal maderable en 2019 fue de 6,200,640 ha, distribuidas en 14,611 predios, y con un volumen autorizado para aprovechamiento de 145,952,604 m<sup>3</sup> volumen total árbol (VTA) para un ciclo de corta de 10 años (alrededor de 14.5 millones de m<sup>3</sup> VTA por año). El 60% de la superficie bajo aprovechamiento maderable corresponde a ejidos forestales, el 13% a comunidades forestales y el 27% a propietarios particulares. El 70% de la producción nacional maderable se concentra en los estados de Durango, Oaxaca, Veracruz, Michoacán y Chihuahua (CONAFOR, 2019).

De acuerdo con la CONAFOR (2019), de la superficie bajo manejo forestal maderable, alrededor de 2.95 millones de ha cuentan con algún tipo de certificación: 1.43 millones de ha tienen una certificación internacional que se basa en prácticas de manejo responsables bajo los estándares de certificación del *Forest Stewardship Council* (FSC), 0.75 millones de ha cuentan con una certificación nacional bajo el esquema de la Norma Mexicana NMX-AA-143-SCFI-2015, y 0.51 millones de ha han sido sometidas a una evaluación o Auditoría Técnica Preventiva (ATP) en el marco de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). 277 ejidos y comunidades aportan 2.5 millones de ha certificadas, y 66 predios particulares aportan 150 mil ha certificadas. Se encuentran en proceso de certificación más de 1 millón de ha.

La superficie forestal vigente en 2019 bajo el programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) corresponde a 2.1 millones de ha. De esta superficie, 74% se encuentra en ejidos, 17% en comunidades y 9% en pequeñas propiedades. La superficie vigente, por ecosistema, se distribuye de la siguiente manera: 49% corresponde a bosques, 35% a selvas, 13% a zonas áridas y 3% a manglares. El 41% de la superficie bajo PSA se encuentra dentro de Áreas Naturales Protegidas (ANP), el 76% presenta un riesgo alto y medio a desastres naturales y el 84% corresponde a zonas estratégicas para la provisión de servicios hidrológicos. Es importante resaltar que el 50% de la superficie bajo PSA se focaliza en zonas identificadas con un índice de presión económica a la deforestación (IPED) alto y muy alto (CONAFOR, 2019).

De 1998 a 2019 el promedio de incendios forestales fue de 8,237, con una superficie promedio anual afectada de 324,672 ha. Los valores máximos de superficie afectada ocurrieron en 1998 (849,632 ha) y en 2011 (956,405 ha). La proporción de superficie afectada por incendios forestales en ANP es del 19%, en áreas con manejo forestal del 6%, en áreas bajo PSA del 2% y en áreas sin esquemas de protección o manejo del 73%. La superficie incendiada promedio por tipo de vegetación se distribuye como sigue: 66% corresponde a bosques, 8% en selvas, 4% en zonas áridas y semiáridas, 1% en manglares y vegetación hidrófila, y 21% en otras asociaciones de vegetación forestal. El 95% de la superficie afectada en 2019 corresponde a vegetación del estrato herbáceo/arbustivo y 5% al estrato arbóreo. La causa principal de incendios forestales han sido las actividades agropecuarias (37.3% de los incendios ocurridos entre 2008 y 2018).

De acuerdo con el Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Suelos en 2019 se registraron 45,774 ha afectadas por diversos agentes causales de plagas y enfermedades, destacando los insectos defoliadores con 21,667 ha (45.4%), en segundo lugar las plantas parásitas y epífitas con 12,885 ha (30.8%), en tercer lugar se ubican los insectos descortezadores con 8,374 ha (17.1%), en cuarto lugar se encuentran los insectos barrenadores con 1,748 ha (4.2%), en quinto lugar otros agentes y enfermedades con 1,100 ha (2.7%) (CONAFOR, 2019).

En el periodo 2013-2018, la CONAFOR orientó acciones de restauración forestal y reconversión productiva en predios forestales degradados. Estas acciones consideraron, en primer lugar, la realización de actividades de reforestación, obras de conservación y restauración de suelos, mantenimiento y acciones de protección de áreas reforestadas en un mismo sitio, con la finalidad de atender en forma integral zonas degradadas. Con este enfoque, en el periodo referido se realizaron trabajos de reforestación en 1,005,324 ha en el país. Con base en CONAFOR (2019), el índice de sobrevivencia de las reforestaciones fluctuó entre 43.5% a 67.8%, dependiendo del año del periodo considerado, al momento en que las plantaciones se establecieron.

## **2.5. Deforestación y degradación forestal en México**

Los procesos de deforestación y degradación forestal presentan dinámicas distintas asociadas a la heterogeneidad de condiciones biofísicas y socioeconómicas en México (CONAFOR, 2019; Osorio et al., 2015). Las tasas de deforestación estimadas en periodos previos al año 2000 varían desde 229 mil a 776 mil ha/año (Castillo et al., 1989; FAO, 2010; Maser et al., 1997; SARH, 1994; SEMARNAP, 1998; Velázquez et al., 2002a). Las cifras de deforestación bruta en las últimas dos décadas han sido consistentemente menores oscilando entre 91,600 y 495,647 ha/año (CONAFOR, 2019; FAO, 2010, 2014).

Con base en la definición de bosque adoptada por México en sus informes ante la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (FAO, 2016) y en el análisis de las fuentes disponibles a nivel nacional (Series de USyV de INEGI), la deforestación neta ha disminuido en las dos últimas décadas de 154,600 ha/año entre 2000 y 2005 a 91,600 ha/año entre los años 2010 y 2015 (FAO, 2014). En contraste, las estimaciones de deforestación bruta del INEGI como parte del BUR1 (INECC-SEMARNAT, 2015) y del primer NREF (CONAFOR, 2015), son mayores y con tendencia variable: 526,930, 675,577 y 355,988 ha/año para los periodos 1993-2001, 2002-2006 y 2007-2010, respectivamente. Estas diferencias con el FRA para la FAO, se deben a tres razones: (i) El primer NREF considera deforestación bruta y no neta, (ii) también emplea una definición de bosque más amplia consistente con las Tierras Forestales del IPCC (2006), la cual incluye los matorrales xerófilos leñosos, y (iii) se basa en una metodología de combinación geográfica de las series de USyV del INEGI (mapas de cobertura/uso de suelo) y no en una comparación tabular.

Las recientes estimaciones de deforestación bruta reportadas en el INEGyCEI-USCUSS (INECC-SEMARNAT, 2018b) de la 6ª CN (INECC-SEMARNAT, 2018a) ante la CMNUCC, reflejan una variación importante con respecto a todas las cifras anteriores: 176,055, 173,935, 193,317 y 251,202 ha/año para los periodos 1990-2001, 2002-2006, 2007-2010 y 2011-2015, respectivamente. Estas cifras pueden ser consideradas los datos menos sesgados de deforestación bruta con que contaba el país antes del presente NREF, ya que fueron producidos mediante un exhaustivo análisis de incertidumbre de los mapas de cambios de las Series de INEGI, basado en Olofsson *et al.* (2014; 2013) Los resultados de este análisis pueden sintetizarse como sigue: (i) la magnitud de la deforestación bruta para todos los periodos es considerablemente menor que las estimaciones previas debido al gran número de falsos cambios producidos por el traslape de mapas de coberturas, (ii) la tendencia se suaviza y muestra un comportamiento al alza en los últimos periodos y (iii) existe convergencia entre las áreas mapeadas y las áreas insesgadas (resultado de la evaluación de exactitud temática de los mapas de cambio), en el último mapa de cambio (que se considera el de mejor calidad).

Este amplio rango de estimaciones de deforestación refleja las diferencias entre las líneas base de comparación, los periodos de referencia, así como la diversidad de métodos y formas de clasificar la vegetación forestal (Ellis *et al.*, 2015). A pesar de la variabilidad de las estimaciones de las tasas de deforestación, la mayoría de ellas coincide en que las tasas de deforestación fueron considerablemente mayores en las selvas tropicales (CONAFOR, 2019; Ellis *et al.*, 2015; INECC-SEMARNAT, 2018a; Masera *et al.*, 1992; Masera *et al.*, 1997).

Las principales causas de deforestación son el cambio de uso de suelo de terrenos forestales hacia terrenos con fines de producción agropecuaria, principalmente la transición a pastizal (Masera *et al.*, 1992; Masera *et al.*, 1997; Velázquez *et al.*, 2002a), seguido de la expansión de usos urbanos, industriales y turísticos. Estos cambios de uso de suelo son propiciados por factores indirectos (causas subyacentes), asociados principalmente a políticas públicas de desarrollo rural (CONAFOR, 2017a; Velázquez *et al.*, 2002b), factores institucionales, sociales y económicos que han fomentado la sustitución de la cobertura forestal (Ellis *et al.*, 2015; Ellis *et al.*, 2017). La falta de cohesión y organización social al interior de las comunidades y ejidos, la pobreza y desigualdad social, los conflictos y tipos de tenencia de la tierra, la falta de valores y responsabilidad ambiental, la falta de capacidades técnicas y gerenciales, las dificultades para acceder a fuentes de financiamiento, la insuficiente transferencia de tecnología para mejorar la productividad, la falta de transparencia proactiva e información para la toma de decisiones, la falta de políticas transversales que promuevan el manejo la conservación y el aprovechamiento de los terrenos forestales (CONAFOR, 2017a; Ellis *et al.*, 2017; Velázquez *et al.*, 2002b) han generado formas de crecimiento y producción no sustentable que, al no incorporar en la toma de decisiones los distintos valores de los ecosistemas (incluidos el valor cultural, social y espiritual), favorecen formas de producción y consumo proclives a la pérdida de cobertura vegetal. Los productos forestales compiten en desventaja en los mercados, debido en parte a los altos costos de transacción, a la baja productividad y a la falta de competitividad de la actividad silvícola. Es evidente que, para ciertos productos (como aguacate, soya, palma de aceite, carne), existen condiciones de mercado y precios favorables que fomentan la expansión agropecuaria.

Adicionalmente, no existe una evaluación nacional detallada de los diversos procesos de degradación que ocurren en el país (CONAFOR, 2017a). El INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN estimó superficies de degradación forestal de 125,262 ha/año para el periodo 2002-2006, 141,581 ha/año para 2007-2010 y 60,799 ha/año para el periodo 2011-2015 (CONAFOR, 2019; INECC-SEMARNAT, 2018a). Los reportes de México ante la FAO estiman superficies que van de 22,800 a 300,000 ha/año entre 2000-2015 (FAO, 2010, 2014).

La degradación forestal es causada por perturbaciones tanto antrópicas como naturales. El grado de afectación de los bosques, debido a estas perturbaciones, depende de su frecuencia, intensidad, extensión y origen (Simula, 2009). Procesos como los incendios forestales, la tala selectiva y la extracción de leña, o la sobreexplotación de un recurso, son las causas directas más comúnmente reportadas como origen de degradación de bosques (Bustamante *et al.*, 2016; Simula, 2009). Eventos hidrometeorológicos extremos como ciclones tropicales, que llegan a afectar más del 60% del territorio nacional (INECC-SEMARNAT, 2018a), sequías y temperaturas cálidas (Gaucin, 2014), pueden inducir la mortalidad de arbolado y pérdida de vegetación (Gómez-Mendoza y Galicia, 2010). Además, pueden impactar en la sanidad forestal, aumentando la susceptibilidad a disturbios como plagas, enfermedades e incendios forestales (Menéndez, 2007) induciendo a la degradación de los ecosistemas forestales.

Los procesos de degradación y deforestación de los ecosistemas forestales tienen consecuencias importantes como la sedimentación de ríos, los azolves en obras hidráulicas y cuerpos de agua, el incremento de la erosión y desertificación, la pérdida de fertilidad de terrenos agropecuarios, el aumento en la vulnerabilidad de los bosques, y la pérdida de la biodiversidad. A su vez, estos procesos ocasionan la pérdida de la capacidad para producir alimentos, la pérdida de oportunidades económicas y productivas, la pérdida de empleos y la intensificación de vulnerabilidad al cambio climático, así como la disminución de la capacidad de adaptación frente a este fenómeno.

## **2.6. Marco legal sobre bosques y cambio climático**

México fue uno de los primeros países en desarrollar un marco legal sobre cambio climático. En 2012, el gobierno mexicano aprobó la Ley General de Cambio Climático (LGCC) disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC\\_061120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_061120.pdf), que es el instrumento jurídico general para coordinar las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en los tres órdenes de gobierno. Esta ley tiene como objeto explícito regular las emisiones de GEI para que México contribuya al objetivo de la CMNUCC previsto en el 2º artículo (<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>).

En 2018 se realizaron importantes modificaciones a la LGCC con la finalidad de establecer las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París, adecuando la terminología, componentes, metas y compromisos con motivo de la entrada en vigor de dicho acuerdo. De manera consistente con la NDC mexicana, la LGCC estipula que el país se compromete a reducir de manera no condicionada el 22% de sus emisiones de GEI y el 51% de sus emisiones de carbono negro al año 2030 con respecto a la línea base.

Tanto la NDC como la LGCC reconocen que el sector forestal es uno de los sectores clave para lograr las metas de mitigación a nivel nacional. Del compromiso total de mitigación no condicionado, el sector forestal contribuirá con casi el 22% de la meta al año 2030. Este porcentaje ubica al sector forestal como el tercer contribuyente a los objetivos de mitigación, sólo después de los sectores de generación de energía eléctrica y del transporte.

La LGCC también establece las disposiciones para que las dependencias de la administración pública federal, estatal y municipal, promuevan políticas y acciones para frenar y revertir la deforestación y la degradación de los ecosistemas forestales y ampliar las áreas de cobertura vegetal y el contenido de carbono orgánico en los suelos, aplicando prácticas de manejo sustentable en terrenos ganaderos y cultivos agrícolas. Esta Ley establece que la CONAFOR diseñará estrategias,

políticas, medidas y acciones para transitar a una tasa de cero por ciento de pérdida de carbono en los ecosistemas originales, tomando en consideración el desarrollo sustentable y el manejo forestal comunitario. La incorporación gradual de más ecosistemas a esquemas de conservación, como el de PSA, es también una disposición relevante.

La legislación en materia de cambio climático y de desarrollo forestal sustentable está alineada en sus propósitos de mitigación en el sector forestal. La LGDFS, disponible en [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS\\_260421.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS_260421.pdf), expedida en 2003 y modificada en 2018, tiene como objetivo específico promover el diseño y la aplicación de medidas de mitigación del cambio climático. Específicamente, tiene como objetivo promover el manejo forestal sustentable a fin de contribuir a mantener e incrementar los acervos de carbono y reducir las emisiones provenientes de la deforestación y degradación forestal.

## **2.7. Políticas y planes pertinentes para REDD+**

La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) disponible en (<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf>), mandatada por la LGCC, es el instrumento rector de la política nacional en este tema y determina la visión a corto y largo plazo para establecer las prioridades nacionales. Una de las principales acciones consideradas por esta estrategia en su eje de mitigación, se refiere a impulsar el manejo forestal planificado y sostenible por parte de las comunidades locales como un mecanismo que incentive la preservación y conservación de los recursos forestales con la finalidad de frenar la deforestación.

La ENCC también plantea como un objetivo a largo plazo que los recursos naturales sean valorados económicamente de manera correcta y adecuada, y que el desarrollo económico y social del país sea potenciado a través del mejoramiento del capital natural. Estos objetivos adquieren especial relevancia para atacar las causas subyacentes de la deforestación y la degradación forestal en México.

Por otra parte, como uno de sus pilares, la ENCC establece que las acciones de mitigación requieren del desarrollo de instrumentos de Medición, Reporte y Verificación (MRV), para proporcionar transparencia y certidumbre de las acciones, y para garantizar la integridad ambiental, comparabilidad, consistencia, transparencia y precisión de los datos. Lo anterior permitirá evaluar y retroalimentar el diseño de las políticas de cambio climático, promoviendo su eficiencia e impacto.

Atendiendo a los mandatos de la LGCC y de la ENCC, y considerando los Acuerdos de Cancún de la COP16 de la CMNUCC, el Gobierno de México, liderado por la CONAFOR, impulsó la construcción participativa de la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (ENAREDD+) que tiene como objetivos disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero ocasionadas por la deforestación y degradación forestal, así como el manejo forestal sustentable y la conservación e incremento de los acervos de carbono forestal, a través del manejo integral del territorio y con un enfoque de desarrollo rural sustentable.

La ENAREDD (CONAFOR, 2017a) fue publicada por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático en el 2017 luego de un exhaustivo proceso participativo para su elaboración<sup>1</sup>. Durante 2015 y 2016 se realizó una amplia consulta (<http://www.enaredd.gob.mx/participacion/>) a través de espacios de diálogo donde interactuaron actores de diferentes sectores, y donde se consideraron las posturas de aquellas personas cuya opinión usualmente no es tan preponderante, como son las mujeres rurales, los jóvenes y los pueblos indígenas.

Otro instrumento de alta relevancia para las acciones de mitigación en el sector forestal es el Programa Nacional Forestal (PRONAFOR), que es un programa derivado del Plan Nacional de Desarrollo. El PRONAFOR tiene un carácter de “especial” lo que implica que para su ejecución y

---

<sup>1</sup> <http://www.enaredd.gob.mx/>

logro de resultados, requiere de un enfoque transversal, el cual considera la colaboración y coordinación de acciones con dependencias y entidades de diferentes sectores de la administración pública federal.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos naturales (SEMARNAT), a través de la CONAFOR, lideró la implementación del Programa Nacional Forestal 2014-2018 (el cual estuvo alineado al Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018). Los propósitos de mitigación estuvieron en el primer plano de los objetivos del PRONAFOR 2014-2018, a través de la promoción del crecimiento sustentable bajo en carbono y de la implementación de las primeras acciones de la ENAREDD+.

La creación de la CONAFOR en 2001 significó un replanteamiento de la política forestal que incluyó como concepto central al manejo forestal sustentable (entendido como la ordenación, el cultivo, la protección, la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los recursos y servicios ambientales de un ecosistema forestal), trascendiendo los objetivos anteriores de la visión de la política enfocada sólo a la producción maderable.

Desde su creación, la CONAFOR ha fortalecido sus estrategias de intervención en el territorio y consolidando sus programas de subsidios. En 2007 la CONAFOR emprendió esfuerzos para integrar sus programas, mediante un mecanismo para simplificar la asignación de sus subsidios y elevar su grado de efectividad. A partir de ese año y a la fecha, cuatro de los programas emblemáticos de la CONAFOR han sido: (i) El Programa de Desarrollo Forestal (que derivó después en la ambiciosa Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2013-2018 (ENAIPROS), (ii) el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA), (iii) el Programa de Restauración Forestal y (iv) el Programa de Protección contra Incendios Forestales.

A partir de 2007, el presupuesto de la CONAFOR (incluido el de los programas arriba mencionados) incrementó considerablemente respecto de todos los años anteriores, y mantuvo una tendencia general al alza hasta 2016, con un máximo de presupuesto total ocurrido en 2014 y un máximo de presupuesto para subsidios ocurrido en 2016.

De 2012 a 2017, la CONAFOR lideró una de las acciones más importantes en la fase de preparación para REDD+ en el sector forestal: el Proyecto de Bosques y Cambio Climático (PBCC), que fue una iniciativa estratégica para fortalecer y respaldar las acciones emprendidas en materia de atención a los bosques y al cambio climático. El PBCC apoyó a las comunidades forestales en México para administrar de manera sustentable sus bosques, fortalecer su organización y aumentar sus ingresos provenientes de la venta de productos y servicios forestales, así como apoyar las acciones para REDD+<sup>2</sup>.

En diciembre de 2016, México presentó el Documento de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE), en la 15a Reunión del Fondo de Carbono (CF15) del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF-CF) en Washington D.C.<sup>3</sup> La IRE es una iniciativa para pilotear el modelo de intervención para REDD+ y contempla el enfoque de manejo integral del territorio en el ámbito rural, estableciendo el vínculo entre la planeación a nivel del territorio (considerando las necesidades locales) y la planeación y programación presupuestal que se realiza a nivel federal y estatal.

Aunque el posible pago por resultados (PPR) en el marco de la IRE está en su fase de negociación entre el gobierno mexicano y el FCPF-CF, esta iniciativa ha sentado las bases para la implementación de acciones REDD+ en cinco estados del país (Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán) que son las entidades que presentan la mayor dinámica de deforestación. El componente medular de la IRE son sus programas de inversión, que son instrumentos de

---

<sup>2</sup> Proyecto de Bosques y Cambio Climático (PBCC). Memoria Documental. Disponible en [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7619Proyecto%20Bosques%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20\(PBCC\).pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7619Proyecto%20Bosques%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20(PBCC).pdf)

<sup>3</sup> Documento de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) y Anexos. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/documento-de-la-iniciativa-de-reduccion-de-emisiones-y-anexos>

planeación territorial que identifican actividades específicas en cada estado para atacar las causas directas y subyacentes de la deforestación y la degradación forestal. Durante 2017 y 2018, la CONAFOR suscribió un acuerdo de coordinación con cada entidad federativa con la finalidad de facilitar la implementación de la IRE. Muchas de las actividades que actualmente realizan dichos estados están basadas en el diagnóstico y planeación de la IRE.

### La nueva política forestal 2019-2024

El actual Programa Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024<sup>4</sup> establece tres ejes temáticos: Política y Gobierno, Política Social y Economía. En particular, el eje de actuación de Política Social impulsará el desarrollo sostenible, como factor indispensable del bienestar, considerando principios éticos, sociales, ambientales y económicos para garantizar un futuro mínimamente habitable y armónico.

Adicionalmente, el artículo 22 de la Ley de Planeación (disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/59\\_160218.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/59_160218.pdf)) establece que el PND indicará los programas especiales que deberán ser elaborados. Uno de ellos es el Programa Nacional Forestal (PNF) 2019-2024, el cual contribuirá a cumplir los compromisos internacionales que México ha adquirido en materia forestal, al adherirse a una serie de acuerdos multilaterales. Entre estos acuerdos se encuentran: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) incluyendo el Acuerdo de París; la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD); el Convenio Internacional de las Maderas Tropicales (CIMT); la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES); el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y las Metas de Aichi, y la Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Además, existen iniciativas internacionales a las que el Gobierno de México se ha adherido como el Desafío de Bonn (*Bonn Challenge*) y la Declaración de Nueva York sobre los Bosques. Como parte de estas contribuciones se suma el objetivo prioritario 1 del PNF (2019-2024), el cual establece:

“Promover el **manejo forestal comunitario** para el uso sostenible y diversificado de los recursos forestales, así como la integración y desarrollo de redes locales de valor competitivas que detonen economías locales para mejorar la calidad de vida de la población que habita en zonas forestales”, que a través de sus estrategias y acciones puntuales contribuirá a reducir en el medio plazo los problemas que han impedido el desarrollo y competitividad del sector forestal.

A través de este objetivo, la CONAFOR implementará la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Comunitario con enfoque territorial y biocultural bajo los principios de sustentabilidad, equidad e inclusión, para fortalecer la gobernanza local y las capacidades técnicas, organizacionales, asociativas, de planeación y empresariales; además de incrementar la superficie incorporada al manejo y uso sostenible de los recursos forestales maderables y no maderables, considerando su potencial productivo, los escenarios de cambio climático y los compromisos del país en materia de mitigación y adaptación al cambio climático.

Adicionalmente, la administración actual está dando continuidad a la ENAREDD+, que centra su objetivo en impulsar un modelo de intervención basado en el manejo integrado del territorio con un enfoque de paisaje, la adaptación basada en comunidades y ecosistemas, a efecto de que los subsidios que otorga la Federación a través de la CONAFOR tengan mayores y mejores impactos sobre los diversos ecosistemas, actores y personas que habitan en las áreas forestales del país, considerando las diferencias y desigualdades entre hombres y mujeres.

---

<sup>4</sup> Programa Nacional Forestal 2020-2024. Programa Especial derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609275&fecha=31/12/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609275&fecha=31/12/2020).

Por otra parte, el programa “Sembrando Vida” ([https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5590695&fecha=30/03/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5590695&fecha=30/03/2020)) consiste en rehabilitar terrenos deforestados o dañados por procesos agrícolas, sembrando alimentos en una primera etapa y árboles maderables posteriormente. Para incentivar a los productores del campo a recuperar sus tierras y no abandonarlas, la Secretaría del Bienestar les entregará un pago de cinco mil pesos mensuales, por trabajar en su propio ejido de lunes a sábado. Dicho programa se articula con la Política de Bienestar de la administración actual, la cual considera la dimensión social y la ambiental.

Este entramado programático pone de manifiesto la determinación institucional para subsanar la falta de políticas transversales para promover el manejo, la conservación y el aprovechamiento de los recursos forestales con una perspectiva de desarrollo sostenible. Asimismo, los objetivos de estos instrumentos de planeación de política medioambiental plantean la generación de información estratégica para una toma de decisiones basada en la evidencia, una coordinación institucional que potencialice las intervenciones diseñadas desde la Administración Pública Federal y una lógica de desempeño por resultados frente a los retos y compromisos adquiridos en materia ambiental a nivel global.

## **2.8. Arreglos institucionales de MRV para REDD+**

La CONAFOR funge como punto focal para la preparación e instrumentación de REDD+ en México. La LGDFS mandata a esta institución para generar la información sobre la reducción de emisiones derivadas de acciones de prevención y combate de la deforestación y degradación forestal, la cual deberá estar basada en el Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación (SNMRV) (art. 46). Además, el estatuto orgánico de la CONAFOR le otorga la atribución de establecer, operar y mantener el Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF) y construir el nivel de referencia de emisiones del sector forestal del país (art. 17, fracc. XXX).

La LGDFS (art. 46) también establece un mandato a la CONAFOR para cuantificar la superficie de terrenos forestales y su localización mediante la aplicación de sus instrumentos de política forestal, con el propósito de integrar su información estadística y elaborar su cartografía, y la dinámica de cambio de la vegetación forestal, que permita conocer y evaluar las tasas de deforestación y las tasas de degradación o perturbación.

El SNMF es un instrumento de la política forestal (art. 34 de la LGDFS) que tiene como objetivo recopilar, analizar y divulgar datos relacionados con los bosques de México, incluyendo la producción de información y conocimiento a intervalos regulares que permitan el monitoreo de sus cambios. El diseño e implementación del SNMF es responsabilidad de la CONAFOR (art. 10 y art. cuarto transitorio de la LGDFS). Este sistema está compuesto por tres pilares o subsistemas (**Cuadro 1**), que cumplen con las funciones de monitoreo y que están estrechamente relacionados entre sí.

**Cuadro 1.** Pilares del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal de México.

Pilares del SNMF	Descripción/objetivo	Fundamento legal y programático	Principales productos
<b>Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF)</b>	Conjunto de procesos, herramientas, insumos y definiciones para cuantificar los cambios en la cobertura forestal del país, incluyendo la evaluación de las tasas de deforestación, degradación forestal y regeneración/reforestación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ LGDFS (Arts. 46 y 49)</li> <li>➤ ENAREDD+ (C4, LA1.1)</li> <li>➤ Estatuto Orgánico CONAFOR (Art. 17)</li> <li>➤ PRONAFOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mapas de cobertura forestal y de cambios de cobertura forestal</li> <li>❖ Malla de referencia (muestreo sistemático de la cobertura forestal)</li> </ul>
<b>Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS)</b>	Instrumento de política pública forestal e información de interés nacional, para la recopilación en campo y generación de información periódica y comparable sobre el estado de los ecosistemas forestales a nivel nacional.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ LGDFS (Arts. 46, 47 y 48)</li> <li>➤ Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (LSNIEG)</li> <li>➤ Estatuto Orgánico CONAFOR (Art. 17)</li> <li>➤ PRONAFOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Bases de datos de 3 ciclos quinquenales de levantamiento en campo</li> <li>❖ Informes periódicos sobre resultados del INFyS</li> <li>❖ Zonificación forestal</li> </ul>
<b>Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación para REDD+</b>	Sistema para generar información sobre las emisiones de GEI debidas a la deforestación y degradación forestal y sobre las absorciones por los ecosistemas forestales, y otros reportes de mitigación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ LGDFS (Art. 46)</li> <li>➤ ENAREDD+ (C4)</li> <li>➤ Estatuto Orgánico CONAFOR (Art. 17)</li> <li>➤ PRONAFOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el sector 3B. Tierra.</li> <li>❖ Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (Nacional)</li> <li>❖ Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (Subnacional-FCPF)</li> <li>❖ Reportes de Mitigación del Sector Forestal (incluyendo línea base y monitoreo de NDC)</li> </ul>

A continuación, se resumen las principales atribuciones institucionales en materia de reportes de mitigación en el sector forestal (**Cuadro 2**).

**Cuadro 2.** Atribuciones y arreglos institucionales en materia de reportes de mitigación en el sector forestal de México

Institución	Atribuciones	Mandato legal	Rol en el NREF actual
<b>INECC</b>	Integrar la información para elaborar las Comunicaciones Nacionales y los BUR. Formular y adoptar metodologías y criterios, expedir las disposiciones jurídicas que se requieran para la elaboración, actualización y publicación del inventario.	LGCC	Fomentar la consistencia metodológica entre el NREF y el INEGI de las Comunicaciones Nacionales y los BUR, incluyendo la línea base para la NDC del sector forestal.
<b>CONAFOR</b>	Generar la información sobre la reducción de emisiones derivadas de acciones de prevención y combate de la deforestación y degradación forestal. Establecer, operar y mantener el SNMFy construir el NREF de emisiones del sector forestal del país. Proveer la información al INECC en materia de mitigación en el sector forestal, incluyendo el INEGI para el sector 3B. Tierra y la NDC para el sector forestal.	LGDFS	Elaborar el NREF de acuerdo con los requerimientos de la CMNUCC. Someter el NREF a la CMNUCC, a través la Secretaría de Relaciones Exteriores. Mantener consistencia metodológica entre el NREF y el INEGI de las Comunicaciones Nacionales y los BUR, incluyendo la línea base para la NDC del sector forestal.
<b>INEGI</b>	Generar información geoespacial de interés nacional sobre la distribución del uso del suelo agrícola, de la vegetación natural e inducida, incluyendo el uso pecuario y forestal y otros usos relacionados con la cubierta vegetal.	LSNIEG	Proveer insumos y asesoría para el NREF (Criterios del Sistema de Clasificación de Uso de Suelo y Vegetación).

### 3. ANTECEDENTES DEL ACTUAL NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES

#### 3.1. Los Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI y el primer NREF

En respuesta a la invitación de la CMNUCC y de acuerdo con la decisión 12/CP.17, México sometió su primer NREF el 8 de diciembre de 2014. Este NREF fue sometido a una evaluación técnica durante 2015. La versión final del NREF y el reporte de la evaluación técnica fueron publicados a finales de 2015<sup>5</sup>.

El primer NREF es consistente con el INEGI-USCUSS que fue presentado ante la CMNUCC en 2015 como parte del BUR1. Este alto nivel de consistencia entre las estimaciones del 1er NREF y el INEGI-USCUSS obedece a razones tanto institucionales como técnicas: (i) Ambos reportes fueron elaborados por el mismo equipo técnico del SNMRV para REDD+ (en la actualidad, una parte importante de dicho equipo técnico continúa operando el sistema en la CONAFOR, con un avance sustancial en la preservación de las capacidades técnicas), (ii) se utilizaron los mismos insumos y (iii) el enfoque metodológico tuvo un alto grado de similitud.

Antes del primer NREF y del BUR1, México presentó cinco comunicaciones nacionales ante la Convención (1997, 2001, 2006, 2010 y 2012). En cada una de ellas, se integraron los inventarios de emisiones para los sectores equivalentes al sector 3B. Tierra USCUSS o CUSS (Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura), dependiendo de las directrices del IPCC anteriormente empleadas. Estos inventarios han evolucionado no sólo en la aplicación de las metodologías del IPCC, sino en las fuentes de información y arreglos institucionales para la obtención de datos de actividad (DA) y factores de emisión (FE) más acordes con las circunstancias nacionales y con los periodos históricos y resultados.

<sup>5</sup> Mexico's Forest reference emission level proposal. Disponible en <https://redd.unfccc.int/submissions.html?country=mex>

El INEGEI-CUSS de la 1ª Comunicación Nacional (CN) y el INEGEI-USCUSS de la 2ª Comunicación del País, fueron elaborados en un contexto de importantes vacíos de información básica para su compilación. Estos problemas ocasionaron que en dichos reportes se haya aplicado un Tier 1, utilizando simplificaciones en la clasificación de la vegetación y en los parámetros asociados a las emisiones, y usando valores por defecto de la literatura internacional (de Jong *et al.*, 2006).

A partir de la 3ª Comunicación Nacional, los INEGEI-USCUSS comenzaron a estimar las emisiones a partir de DA y FE nacionales. Las series cartográficas de uso de suelo y vegetación del INEGI se convirtieron en el insumo principal para obtener las superficies de las principales clases de cobertura vegetal y su dinámica de cambio. De ahí en adelante, el uso de la cartografía de INEGI permitió mantener un alto nivel de coherencia, al menos en los DA, en todos los periodos históricos analizados en cada inventario.

El INEGEI-USCUSS correspondiente al BUR1 y el primer NREF también utilizaron el enfoque de sobreposición de las series de INEGI para determinar los DA. Este enfoque consiste en sobreponer geográficamente dos mapas de coberturas para obtener un mapa de cambios de coberturas, cuyo periodo es la diferencia de años entre los dos mapas de cobertura. Además, ambos reportes emplearon por primera vez los datos completos del primer ciclo del INFyS para estimar los FE a nivel nacional y con un alto grado de detalle por grupo de vegetación.

De manera equivalente a la evaluación técnica del primer NREF, el INEGEI-USCUSS del BUR1 se sometió a un proceso de consulta y análisis internacional (ICA, por sus siglas en inglés) en virtud del Acuerdo de París y de conformidad con la decisión 2/CP.17. Ambos procesos de revisión técnica derivaron en la identificación de importantes áreas de mejora técnica futura. Además, tuvieron una amplia coincidencia respecto de las principales áreas de mejora identificadas:

- I. Uso de Unidad Mínima Mapeable (UMM) de bosque más refinada (puesto que ambos reportes emplearon 50 ha como UMM de bosque, debido a la disponibilidad de insumos).
- II. Estimación de las incertidumbres asociadas a los DA.
- III. Estimación de las emisiones por degradación forestal y separación de las emisiones derivadas de incendios forestales de las emisiones asociadas con la deforestación.
- IV. Inclusión de los cinco reservorios de carbono, con énfasis en la inclusión del reservorio de madera muerta.
- V. Mejoras metodológicas para la generación de FE con el uso de etiquetas de campo de los conglomerados (CGL) del INFyS.
- VI. Mejorar el análisis de los FE para el reservorio de carbono orgánico en suelos (COS).
- VII. No utilizar las ecuaciones alométricas propuestas por Cairns *et al.* (1997) para estimar biomasa subterránea.
- VIII. Propagar incertidumbres con Método de Monte Carlo.

La mayoría de estas áreas de mejora fueron consideradas e incluidas en el INEGyCEI-USCUSS como parte de la 6ª CN y el BUR2 que México presentó ante la CMNUCC a finales de 2018<sup>6</sup>. Enseguida se presenta un resumen de las mejoras e innovaciones metodológicas de dicho inventario respecto de todos los inventarios anteriores (**Cuadro 3**).

---

<sup>6</sup> México. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: <https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/>

**Cuadro 3.** Mejoras e innovaciones metodológicas en el INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN y el BUR2.

MEJORAS METODOLÓGICAS	ACTIVIDADES ESPECÍFICAS	EFFECTOS EN LAS ESTIMACIONES
Estimación de incertidumbres de los datos de actividad (DA)	Análisis de exactitud temática de los mapas de cambios generados con Series de USyV del INEGI Estimación de áreas insesgadas y estimación de incertidumbres de los datos de actividad, con base en Olofsson <i>et al.</i> (2013; 2014)	Disminución de la magnitud de la tasa de deforestación Tendencias más estables (suavización de gráficas de deforestación) Convergencia entre áreas mapeadas y áreas insesgadas en el último mapa de cambios (que se considera el de mejor calidad)
Mejor uso de los factores de emisión (FE) por degradación forestal	Uso de datos de dos ciclos completos del INFyS Exclusión de emisiones por incendios forestales para evitar doble contabilidad	Disminución de la magnitud de las emisiones por degradación forestal
Inclusión de los cinco reservorios de carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 ciclos completos del INFyS</li> <li>• Densidades de C para madera muerta y mantillo</li> <li>• 27,000 densidades de madera</li> <li>• 475/199 modelos alométricos (biomasa/volumen)</li> </ul>	Aumento de la magnitud de las emisiones y absorciones de Carbono
Uso de coeficientes de biomasa subterránea (BS) según IPCC (2006)	Se estimó la BS empleando las razones BS/BA (R) sugerida por las Directrices IPCC (2006) en función de los contenidos de biomasa aérea (BA) y las ecorregiones	Aumentó el valor de las densidades de BS
Mejora de los factores de emisión para carbono orgánico en el suelo (COS)	Estratificación por tipos de suelos y tipos de vegetación y uso consistente de los FE para las diferentes transiciones con valores nacionales	En el primer BUR y en el anterior NREF la transición de TF-TNF*, en numerosos casos, resultaba en absorciones en lugar de emisiones, lo que era una inconsistencia metodológica. En la 6ª CN, esta área de oportunidad fue corregida y el resultado de las transiciones fueron emisiones
Intensificación de controles de calidad de los procesos de estimación	Control de calidad de bases de datos Validaciones cruzadas	Ninguno
Propagación de incertidumbres con el método de simulación numérica (Monte Carlo)	Por primera vez se estimó la incertidumbre de los DA, con lo cual fue posible propagar las incertidumbres de los DA y FE empleando tanto el método analítico como el de simulación numérica	Se integró una fuente adicional de incertidumbre correspondiente a los DA y éstas se propagaron más adecuadamente; por lo que los valores de las incertidumbres propagadas fueron mayores a los reportados en los informes previos

\*TF= Tierras forestales; TNF= Tierras no Forestales;

Las mejoras metodológicas del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN produjeron estimaciones de superficies y emisiones por deforestación y degradación forestal considerablemente menos sesgadas que las de todos los inventarios anteriores y que el primer NREF. Un ejercicio de la magnitud del análisis de incertidumbre de los mapas de cambios producidos con las Series de INEGI a nivel nacional no había sido desarrollado en el país hasta ese inventario.

No obstante, estas mejoras metodológicas, el proceso de elaboración del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN enfrentó grandes retos para disminuir el área mínima de mapeo de los bosques del país. A pesar de que la unidad de muestreo para el análisis de incertidumbre consistió en 1 ha, el uso de las series de INEGI preservó la limitación de 50 ha como UMM de los tipos de vegetación.

### 3.2. El Sistema Satelital de Monitoreo Forestal de México

Con la finalidad de generar información geoespacial sobre la cobertura forestal del país y su dinámica, con mayor resolución espacial y temporal, México está consolidando su Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF), como uno de los pilares básicos de su Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF). El Sistema SAMOF está implementando dos enfoques complementarios para mejorar la información sobre las variaciones de la superficie de tierras forestales y así refinar el área mínima de mapeo de los bosques de México y disminuir las incertidumbres de los mapas: el enfoque pared a pared (*wall-to-wall*) y el enfoque de muestreo sistemático.

### 3.2.1. Enfoque *wall-to-wall*

El núcleo de procesamiento semiautomatizado del enfoque *wall-to-wall* del sistema SAMOF tiene sus antecedentes en el *software* MAD-Mex. Este *software* surgió en el marco del Proyecto “Fortalecimiento del proceso de preparación para REDD+ en México y fomento a la Cooperación Sur-Sur” (Gebhardt *et al.*, 2014), implementado por la CONAFOR de 2012 a 2016 y financiado por el Gobierno de Noruega. Este sistema fue desarrollado en estrecha colaboración interinstitucional entre CONAFOR, INEGI y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). En términos del nivel de financiamiento, la CONAFOR aportó alrededor del 71% del costo total de este programa, que incluye el costo de desarrollo, de insumos, de hardware y de las etapas piloto de post-procesamiento.

MAD-Mex es un programa de procesamiento de imágenes de satélite, principalmente de los sensores Landsat y Sentinel. Este *software* está desarrollado en el lenguaje de programación Python (Gebhardt *et al.*, 2014) y actualmente está alojado y en funcionamiento en la nube de *Amazon Web Service* (AWS). MAD-Mex tiene como uno de sus objetivos, la generación de mapas de cobertura a nivel nacional, a partir de la segmentación (segmentador de Berkeley) y clasificación automatizada orientada a objetos (clasificador C5) de compuestos multitemporales de imágenes Landsat. Posteriormente a este proceso semiautomatizado con MAD-Mex, se considera la implementación de un proceso de interpretación visual para revisar, corregir y ajustar el producto de cobertura con la finalidad de generar un mapa de referencia que sirva como base para el monitoreo de las áreas forestales en el país (GOFC-GOLD, 2015).

Otro de los objetivos del *software* es la generación preliminar de mapas de cambios de coberturas a nivel nacional y estatal, en periodos de tiempo específicos y definidos de acuerdo con las necesidades de la CONAFOR. Para la detección y mapeo de los polígonos de cambio se hace uso del algoritmo iMAD-MAF (*iterative Multivariate Alteration Detection transformation*), el cual se basa en el análisis bitemporal de los compuestos Landsat para generar mapas preliminares de cambio. Posteriormente, mediante un proceso de interpretación visual, se revisan y separan los polígonos de cambio que realmente corresponden a un cambio de cobertura y se descartan aquellos polígonos que corresponden a “falsos positivos” generados por el algoritmo implementado en el *software*.

De 2016 a 2018, la CONAFOR implementó una serie de mejoras sustanciales al *software*, con la finalidad de generar productos con una calidad adecuada y para hacer más costo-efectiva la producción de mapas con el sistema SAMOF. La versión 2.2 de MAD-Mex que opera la CONAFOR presenta mejoras para eficientizar sus objetivos: (a) cuenta con una interfaz gráfica amigable para el usuario, (b) se integró el procesamiento de imágenes Sentinel 2 con una resolución de 10 m (lo que permite generar información con mayor resolución espacial para el nivel subnacional), (c) se homogeneizó y depuró el código de los scripts en Python, además de su adecuación para su correcto funcionamiento en la nube de Amazon, (d) se programó e implementó un algoritmo para la reducción de los problemas de bandeo en las imágenes Landsat 7, (e) como opción al uso de segmentadores licenciados (segmentador de Berkeley), se integraron segmentadores de código abierto como SLIC y SLICO (*Simple Linear Iterative Clustering*), (f) se generaron los metadatos relacionados con el pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento de los mapas de cobertura y cambios de coberturas y (g) se generó la documentación de todos los procesos y algoritmos de MAD-Mex.

La versión 2.2 de MAD-Mex permitió que la CONAFOR cuente con una herramienta: (i) plenamente operativa en la CONAFOR a través de los servicios de la nube AWS, (ii) corregida a nivel de algoritmos y con procesos documentados y estandarizados, (iii) diseñada de acuerdo con las necesidades específicas de reporte de la institución, (iv) operativa y alineada a las definiciones de la legislación mexicana y del IPCC, y (v) administrada, implementada y mejorada por técnicos nacionales de la CONAFOR.

El enfoque *wall-to-wall* del Sistema SAMOF es, sin embargo, un sistema más amplio y de mayor alcance que el *software* MAD-Mex. El procesamiento semiautomatizado es sólo uno de los pasos que integran el proceso lógico de este enfoque, el cual, se muestra en la **Figura 8**.

1. Arreglos institucionales	2. Calibración	3. Pre-procesamiento	4. Procesamiento semi-automatizado (MAD-Mex V 2.2)	5. Post-procesamiento	6. Evaluación de exactitud temática
<p>Alineación de definiciones legales y operativas</p> <p>Correspondencia entre el Sistema de Clasificación de USyV de INEGI con la definición de Bosque</p>	<p>Ajuste de los métodos a las condiciones de México</p> <p>Corrección de algoritmos de coberturas</p> <p>Áreas de entrenamiento depuradas</p>	<p>Gestión de la base de imágenes satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)</p> <p>Controles de calidad en las imágenes satelitales</p>	<p>Procesamiento semi-automatizado de imágenes satelitales</p> <p>Segmentación y clasificación de coberturas</p> <p>Clasificación y detección de cambios de manera semi-automatizada</p>	<p>Interpretación visual y corrección manual de mapas</p> <p>Edición final de mapas</p>	<p>Cálculo de los errores de los mapas</p> <p>Análisis de incertidumbre de los DA</p>

**Figura 8.** Proceso del enfoque del Sistema SAMOF.

La cadena de producción completa del sistema SAMOF ha sido implementada por primera vez para la generación de mapas de coberturas y mapas de cambios de coberturas para 6 estados, incluyendo los 5 estados de la IRE (programa de reducción de emisiones en el marco del FCPF-CF). En el **Cuadro 4**, se sintetizan las características logradas para dicha cartografía.

Durante la implementación de esta cadena de producción a nivel subnacional, la CONAFOR ha consolidado sus capacidades técnicas y organizativas para generar cartografía de alta calidad. Sin embargo, también se han obtenido lecciones aprendidas acerca de la complejidad técnica y los altos costos de producción de estos mapas. Las fases de post-procesamiento y de evaluación de exactitud temática son las más complicadas en términos de la cantidad de recursos humanos y financieros que se necesitan para obtener productos adecuados para los reportes institucionales.

Para poder escalar la cadena de producción a todo el país, es necesario aumentar el número de especialistas en interpretación visual para atender las revisiones manuales que son necesarias después de la fase de producción semi-automatizada. La estructura operativa de la CONAFOR no ha contado históricamente con el equipo suficiente de especialistas para realizar estas tareas, debido a que el Sistema SAMOF es un instrumento reciente y de vanguardia. Esta situación se ha agudizado con los recortes presupuestales que ha sufrido la institución.

**Cuadro 4.** Características técnicas de los productos cartográficos del Sistema SAMOF

Características	Mapas de Cobertura*	Mapas de Cambio de Cobertura
Cobertura espacial	Subnacional (Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán)	Subnacional (Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán)
Año base o periodos	2000, 2016	2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016, 2016-2018
Proyección cartográfica	Cónica Conforme de Lambert (4326 Authority: <i>European Petroleum Survey Group</i> (EPSG))	Cónica Conforme de Lambert (4326 Authority: <i>European Petroleum Survey Group</i> (EPSG))
Sistema Geodésico de Referencia	D_WGS_1984	D_WGS_1984
Unidad Mínima Mapeable	1 ha	1 ha
Escala	1:75,000	1:75,000
Insumos	Compuesto derivado del promedio de la serie de tiempo de imágenes Landsat 5 y 7 para el 2000 y Landsat 8 para el 2016	Métricas de las imágenes del compuesto derivado del promedio de la serie de tiempo de imágenes Landsat 5, 7 y 8 de acuerdo con el periodo
Exactitud temática	86 % global	72 % global
Resolución temática	34 clases de cobertura	36 clases potenciales (basadas en las 6 categorías de uso/gestión de la tierra del IPCC)
Actualización	Cada 2 años, a partir de 2018	Cada 2 años, a partir de 2018

\*Mapas disponibles en <https://samofcobertura.forest2020-mx.ourecosystem.com/interface/>

La CONAFOR cuenta con una estrategia a mediano plazo para implementar el enfoque *wall-to-wall* para generar mapas de cambios de cobertura forestal a nivel nacional, priorizando los periodos más recientes para apoyar el diseño de políticas públicas durante la presente administración federal. Los elementos principales de esta estrategia son: (i) preservar las capacidades técnicas nacionales para operar el sistema SAMOF, (ii) ampliar el número de especialistas en interpretación visual para escalar el enfoque a todo el país, (iii) establecer arreglos institucionales con gobiernos estatales clave para hacer sinergias en sus respectivas jurisdicciones y (iv) explorar el uso de nuevos algoritmos de detección de cambios para reducir el tiempo de post-procesamiento, incluyendo la exploración de enfoques de *machine learning*.

### 3.2.2. Enfoque de muestreo sistemático para el NREF

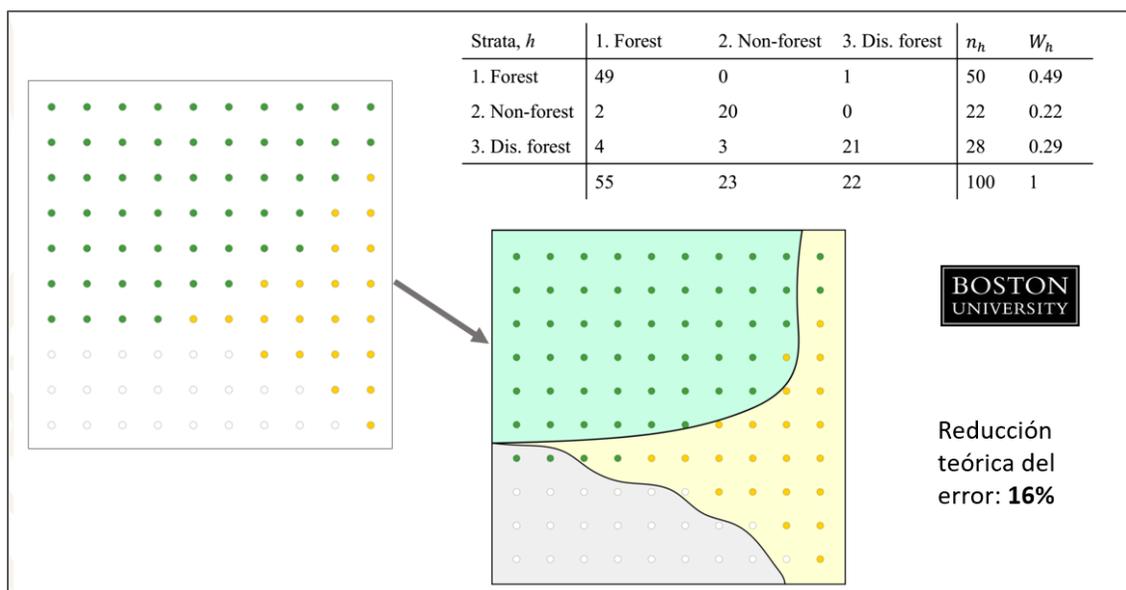
La CONAFOR está implementando un muestreo sistemático como un enfoque costo-efectivo, paralelo y complementario al enfoque *wall-to-wall*, para generar información geoespacial sobre la dinámica de la cobertura de bosques de México, capaz de resolver necesidades concretas y apremiantes para la institución, mientras se continúan desarrollando los mapas de cambios de cobertura forestal para todo el país.

El muestreo sistemático para evaluar las conversiones de la superficie de tierras forestales en el país toma como base el diseño de muestreo del INFyS para las grandes formaciones forestales presentes en el país: bosques y selvas, comunidades semiáridas y comunidades áridas. El proceso de clasificación de cobertura y uso del suelo de las unidades de muestreo se realiza mediante la interpretación visual aumentada de imágenes satelitales de mediana, alta y muy alta resolución.

El presente NREF utiliza este enfoque para la estimación de la dinámica de la superficie forestal del país. El enfoque de muestreo permite, junto con los datos del INFyS, conocer las emisiones asociadas a la deforestación y a una parte importante de la degradación forestal, mediante el enfoque "*stock difference*" (ver capítulo 6 para mayor detalle). La elección de este enfoque se basó en: (i) costo-efectividad del método de muestreo sistemático, (ii) los resultados satisfactorios de una prueba piloto para estimar tasas de deforestación a nivel nacional, (iii) la evitación de incertidumbres clásicas y sesgos relacionados con extrapolaciones de métodos basados en mapeo, (iv) las lecciones aprendidas del enfoque *wall-to-wall* y (v) las recomendaciones para utilizar este método por parte de la FAO y el Banco Mundial.

### 3.3. Enfoque escalonado para evaluar la dinámica de la cobertura forestal en México

La CONAFOR tiene planeado mejorar la evaluación de la dinámica de las superficies de tierras forestales en México, mediante una combinación del muestreo sistemático con el enfoque *wall-to-wall*. Las estimaciones de las superficies de bosques, de deforestación y de degradación forestal pueden ser mejoradas a través de una post-estratificación del muestreo sistemático, basada en los mapas de coberturas y cambios de coberturas del Sistema SAMOF (**Figura 9**).



**Figura 9.** Post-estratificación del muestreo sistemático, basada en los mapas de coberturas y cambios de coberturas del Sistema SAMOF. Fuente: Olofsson, 2018.

Los estudios preliminares de Olofsson (2018) indican que es posible reducir hasta en un 16% las incertidumbres de las tasas de cambio estimadas mediante la combinación de ambos enfoques. Un enfoque combinado tendría la ventaja de disminuir considerablemente las incertidumbres de las variaciones de la cobertura forestal de México, al tiempo que brindaría información básica para el diseño de programas y proyectos de mitigación en el sector forestal, con información espacialmente explícita.

## 4. INFORMACIÓN TRANSPARENTE, COMPLETA, COHERENTE Y EXACTA

El Anexo de la decisión 12/CP.17 establece que la información proporcionada en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales y/o el Nivel de Referencia Forestal debería guiarse por las orientaciones y directrices más recientes del IPCC, e incluir la información transparente, completa, coherente y exacta, incluida la información metodológica, que se utilizó para elaborar dicho reporte.

El presente NREF ha sido elaborado de acuerdo con las directrices y procedimientos contenidos en las decisiones de la CMNUCC (UNFCCC, 2011, 2012), e IPCC (2006), dando cumplimiento a los principios de transparencia, completitud, coherencia y exactitud mencionados en la Decisión 12/CP.17.

### 4.1. Transparencia

Este principio implica que las fuentes de datos, los supuestos, las metodologías y los procedimientos utilizados para el NREF deben explicarse claramente, a fin de facilitar la replicación y evaluación del NREF por parte de los usuarios y/o revisores de la información reportada.

Durante la construcción de este reporte, se aplicaron y siguieron los siguientes mecanismos para asegurar el apego al principio de transparencia:

- El NREF está estructurado siguiendo la secuencia lógica de estimación y de acuerdo con los requerimientos del Anexo de la Decisión 12/CP.17.
- El anexo metodológico contiene explicaciones exhaustivas sobre los insumos, enfoques, métodos, modelos y supuestos empleados.
- Los métodos de estimación y sus resultados preliminares fueron socializados con especialistas nacionales e internacionales (UNAM, Banco Mundial, US Forest Service, Programa SilvaCarbon, Programa ONU-REDD) para recibir retroalimentación.
- En el caso de la omisión de actividades y gases en este NREF, se proporcionan las justificaciones de su omisión y propuestas de mejora futura.

#### **4.2. Completitud**

Según el Anexo de la Decisión 12/CP.17, la completitud de la información se entiende como “una información que permita la reelaboración de los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal”. Para apegarse a este principio, se realizó lo siguiente:

- La información utilizada para el desarrollo del NREF se encuentra disponible de modo accesible en su totalidad, en este documento principal y en su anexo metodológico, lo que permite su reconstrucción.
- Las bases de datos generadas como productos intermedios y finales se ponen a disposición a través del enlace [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/).

#### **4.3. Coherencia o consistencia**

Según el IPCC (2006), consistencia significa que un inventario de GEI (en este caso el NREF) debe ser internamente consistente para todos los años reportados en todos los elementos de todos los sectores, categorías y gases. Un inventario es consistente si se usan las mismas metodologías para el año base y todos los años subsecuentes y si se usa un conjunto de datos consistentes para estimar emisiones o absorciones de fuentes o sumideros. En determinadas circunstancias, un inventario que utiliza diferentes metodologías para diferentes años puede considerarse coherente si se ha recalculado nuevamente de manera transparente.

El presente NREF es consistente internamente ya que utiliza los mismos insumos y las mismas metodologías para estimar las emisiones en todos los años del periodo analizado. No se tuvo la necesidad de cambiar un método específico para algún año del periodo de referencia.

Con respecto a la consistencia entre el presente NREF y el último INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN, a lo largo del documento se describen las diferencias metodológicas, de insumos y de definiciones utilizados en ambos reportes. Aún cuando existen dichas diferencias, debidas a la disponibilidad de insumos, a la evolución del SNMF Mexicano y a decisiones que consideran el costo-eficiencia de los enfoques metodológicos, las cifras entre ambos reportes son consistentes en el sentido de que no implican contradicciones entre los resultados de ambos informes.

#### **4.4. Exactitud**

Según el volumen 3 de las directrices IPCC 2006, la exactitud es el acuerdo entre el valor real y el promedio de observaciones o medidas reiteradas de una variable. En otras palabras, una medición o predicción exacta carece de sesgo o, de forma equivalente, de errores sistemáticos.

El enfoque metodológico de estimación del presente NREF permite utilizar de manera correcta y directa los insumos con los que cuenta el país, cumpliendo con los supuestos de estos métodos.

Bajo esta consideración, la estimación del presente NREF fue obtenida bajo un enfoque que aumenta la exactitud y mantiene niveles aceptables de incertidumbre (ver secciones 8, 9, 10 y 11 de este documento y la sección 4 del Anexo Metodológico).

## 5. DEFINICIONES

### 5.1. Definición de bosque

#### 5.1.1. Definición legal

Con base en la LGDFS<sup>7</sup> un “Terreno Forestal” es aquél que está cubierto por vegetación forestal y produce bienes y servicios forestales (Art. 7, Frac. LXXI). La misma Ley define “**vegetación forestal**” 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, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales (Art. 7, Frac. LXXX).

En el Reglamento de la LGDFS (RLGDFS)<sup>8</sup> se hace una diferenciación entre Bosque, Selva y Vegetación Forestal de Zonas Áridas para especificar a la vegetación forestal de las tres zonas climáticas generales del país: templada, tropical y árida o semiárida. Dicho reglamento establece que los tres tipos de vegetación deben formar masas mayores a 1,500 m<sup>2</sup> para ser considerados como tal. Además, en el RLGDFS se indica que los bosques y selvas están compuestos predominantemente por especies leñosas y perennes con una cobertura de dosel superior al 10% de la superficie que ocupa.

#### 5.1.2. Definición IPCC

Con base en el IPCC (2006), Tierra forestal comprende toda la tierra con vegetación leñosa (maderera) consistente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el INEGI, subdivididas a nivel nacional, gestionadas y no gestionadas, por tipo de ecosistemas como se especifica en las Directrices IPCC. También incluye aquellos sistemas con una estructura de vegetación que, aunque actualmente son inferiores, podrían potencialmente alcanzar *in situ* los valores de los umbrales utilizados por un país para definir la categoría de tierra forestal.

#### 5.1.3. Definición operativa

Para fines de este NREF se define como “Bosque” a los Terrenos o Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición *in situ*, y con una extensión mínima de 1 ha.

De manera operativa, en esta definición de “Bosque” se incluyeron todos aquellos tipos de vegetación que, de acuerdo con los criterios fisonómico-estructurales, tienen dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, tales como bosques templados y selvas. Además, se incluyeron los tipos de vegetación de matorrales xerófilos, vegetación hidrófila y otros tipos, con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente. No se incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.

Esta definición de “Bosque” (o Tierras Forestales) es consistente con el proceso de consulta de la ENAREDD+, el cual derivó en recomendaciones de usar una definición más amplia para cumplir con el objetivo de la implementación de REDD+ de una manera incluyente (CONAFOR, 2017a). La definición establecida busca tener la mayor consistencia con la definición de Tierras Forestales del IPCC y con la definición legal de Terrenos Forestales de México, a la vez que incluye las recomendaciones de la consulta de la ENAREDD+.

---

<sup>7</sup> Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. DOF 05-06-2018.

<sup>8</sup> Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. DOF 31-10-2014.

Si bien la legislación mexicana<sup>9</sup> considera una extensión mínima de 0.15 ha, en la definición del presente NREF se consideró 1 ha como la superficie mínima que debe cubrir una tierra forestal, para que sea catalogada como “Bosque”. Esta decisión operativa fue tomada para tener consistencia con los criterios del IPCC y con base en las características técnicas de la información geoespacial del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF).

Este NREF considera a los terrenos temporalmente forestales (definidos en el Art. 7, Fracc. LXXIII de la LGFDS) como Tierras Forestales, ya que cumplen con los criterios de la definición operativa de TF. En otras palabras, las reforestaciones, las plantaciones forestales comerciales y los acahuales son considerados como TF en este NREF (ver decreto de reformas y adiciones al Art. 7 <http://www.sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Decretos/DOF3965959-4008592-20200413.pdf>).

### Correspondencia con el sistema de clasificación de uso de suelo y vegetación del INEGI

Uno de los principales criterios de la definición de Bosque fue la inclusión de la vegetación leñosa para que sea considerada “Tierra Forestal (TF)” consistente con las categorías de uso/gestión de la tierra del IPCC (Categorías IPCC) (IPCC, 2003, 2006), por lo que los distintos tipos de vegetación *sensu* INEGI (2016b) o clases INEGI se clasificaron en las categorías del IPCC, de acuerdo a lo descrito en el Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 (INEGI, 2017b). A continuación, se indican los tipos de vegetación (Clases INEGI) que se incluyen como Bosque o Tierras Forestales y los tipos de vegetación por cada categoría IPCC (**Cuadro 5**).

**Cuadro 5.** Tipos de uso de suelo y vegetación (USyV) de INEGI por clase del IPCC con base en sus características fisonómico-estructurales.

Categorías IPCC	Clave INEGI	Descripción de Tipos USyV INEGI (Clases INEGI)
Tierras Forestales	BS	Bosque de Ayarín
Tierras Forestales	BB	Bosque de Cedro
Tierras Forestales	BQ	Bosque de Encino
Tierras Forestales	BQP	Bosque de Encino-Pino
Tierras Forestales	BG	Bosque de galería
Tierras Forestales	MK	Bosque de Mezquite
Tierras Forestales	BA	Bosque de Oyamel
Tierras Forestales	BP	Bosque de Pino
Tierras Forestales	BPQ	Bosque de Pino-Encino
Tierras Forestales	BJ	Bosque de Táscate
Tierras Forestales	BM	Bosque Mesófilo de Montaña
Tierras Forestales	MJ	Matorral de Coníferas
Tierras Forestales	BC	Bosque cultivado
Tierras Forestales	BI	Bosque Inducido
Tierras Forestales	VM	Manglar
Tierras Forestales	PT	Vegetación de Petén
Tierras Forestales	ML	Chaparral
Tierras Forestales	MC	Matorral Crasicaule
Tierras Forestales	MET	Matorral Espinoso Tamaulipeco
Tierras Forestales	MRC	Matorral Rosetófilo Costero
Tierras Forestales	MSC	Matorral Sarcocaulé
Tierras Forestales	MSCC	Matorral Sarco-Crasicaule
Tierras Forestales	MSN	Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina
Tierras Forestales	MSM	Matorral Submontano
Tierras Forestales	MST	Matorral Subtropical
Tierras Forestales	MKX	Mezquital Desértico
Tierras Forestales	MKE	Mezquital Tropical
Tierras Forestales	VG	Vegetación de Galería
Tierras Forestales	VPI	Palmar Inducido
Tierras Forestales	VPN	Palmar Natural

<sup>9</sup> En el Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Categorías IPCC	Clave INEGI	Descripción de Tipos USyV INEGI (Clases INEGI)
Tierras Forestales	SAP	Selva Alta Perennifolia
Tierras Forestales	SAQ	Selva Alta Subperennifolia
Tierras Forestales	SBQ	Selva Baja Espinosa Subperennifolia
Tierras Forestales	SBP	Selva Baja Perennifolia
Tierras Forestales	SBQP	Selva Baja Subperennifolia
Tierras Forestales	SG	Selva de Galería
Tierras Forestales	SMP	Selva Mediana Perennifolia
Tierras Forestales	SMQ	Selva Mediana Subperennifolia
Tierras Forestales	SBC	Selva Baja Caducifolia
Tierras Forestales	SBK	Selva Baja Espinosa Caducifolia
Tierras Forestales	SBS	Selva Baja Subcaducifolia
Tierras Forestales	SMC	Selva Mediana Caducifolia
Tierras Forestales	SMS	Selva Mediana Subcaducifolia
Tierras Agrícolas	HA	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HAP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HAS	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HS	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	HSP	Agricultura de Humedad
Tierras Agrícolas	RA	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RAP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RAS	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RS	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	RSP	Agricultura de Riego
Tierras Agrícolas	TA	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TAP	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TAS	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TP	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TS	Agricultura de Temporal
Tierras Agrícolas	TSP	Agricultura de Temporal
Praderas	MDM	Matorral Desértico Micrófilo
Praderas	MDR	Matorral Desértico Rosetófilo
Praderas	VD	Vegetación de Desiertos Arenosos
Praderas	VU	Vegetación de Dunas Costeras
Praderas	VY	Vegetación Gipsófila
Praderas	VHH	Vegetación Halófila Hidrófila
Praderas	VH	Vegetación Halófila Xerófila
Praderas	PC	Pastizal Cultivado
Praderas	PY	Pastizal Gipsófilo
Praderas	PH	Pastizal Halófilo
Praderas	PI	Pastizal Inducido
Praderas	PN	Pastizal Natural
Praderas	VW	Pradera de Alta Montaña
Praderas	VS	Sabana
Praderas	VSI	Sabanoide
Praderas	VA	Popal
Praderas	VT	Tular
Asentamientos	AH	Asentamientos Humanos
Asentamientos	ZU	Zona Urbana
Humedales	ACUI	Acuícola
Humedales	H2O	Cuerpo de Agua
Humedales	PRE	Cuerpo de Agua
Otras Tierras	ADV	Desprovisto de Vegetación
Otras Tierras	DV	Sin Vegetación Aparente

#### 5.1.4. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores

La definición de bosque usada para la construcción del NREF es consistente en los criterios de porcentaje mínimo de cobertura de dosel, altura mínima de vegetación leñosa y a nivel conceptual

de tipos de vegetación con dominancia leñosa con la usada en el INEGyCEI que se presentó como parte del segundo BUR (INECC-SEMARNAT, 2018b) y 6ª CN (INECC-SEMARNAT, 2018a), así como el primer NREF 2015 (CONAFOR, 2015) y primer BUR. Dichos reportes incluyen todos aquellos tipos de vegetación con dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, y otros estratos con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente. La altura mínima de 4 m se considera representativa de la condición estructural de la vegetación forestal de zonas áridas y semiáridas con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente *sensu* INEGI (2016b, 2017b).

Es importante mencionar que esta definición de tierras forestales incluye todos los tipos de vegetación considerados como “bosque” y algunos tipos de vegetación clasificados como “otras tierras boscosas”, según el FRA (FAO, 2014), lo que es consistente con las recomendaciones de la ENAREDD+ (CONAFOR, 2017a).

La extensión mínima para considerar un terreno como Bosque, se ajustó de 50 ha en reportes previos a 1 ha en el presente NREF, con base en los insumos con mayor resolución generados por el enfoque de muestreo sistemático del sistema SAMOF. Se muestran las definiciones en el **Cuadro 6**.

**Cuadro 6.** Comparación entre las definiciones de Bosque empleadas en reportes anteriores con respecto al actual.

1er NREF 2015	1er BUR 2015	FRA 2015	6ta CN y 2do. BUR (2018)	2º NREF (2020)
Tierras que se extienden por más de 50 ha 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 <i>in situ</i> . No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.	Esta categoría comprende toda la tierra con vegetación leñosa que es consistente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el INEGI subdivididas a nivel nacional, 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, pero que se espera sea rebasado. La extensión mínima fue de 50 ha con base en los insumos de INEGI.	Tierras que se extienden por más de 0,5 ha dotadas de árboles de una altura superior a 5 metros y una cobertura de copa superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura <i>in situ</i> . No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano <sup>10</sup> . En términos operativos se consideró una superficie de 50 ha.	Superficie con vegetación leñosa coherente con umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el INFyS, subdivididas a nivel nacional, gestionadas y no gestionadas, y también por tipos de ecosistema, según se especifica en las Directrices del IPCC 2006. También abarca sistemas con vegetación inferiores al umbral para la categoría de tierras forestales, pero que potencialmente podría alcanzar los valores utilizados por un país para definir la categoría de tierras forestales. De manera operativa son Tierras Forestales todos aquellos tipos de vegetación que, de acuerdo con los criterios fisonómico-estructurales, tienen dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, tales como Bosques y Selvas, además de otros estratos con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente, como los son Otros Tipos, Matorrales y Vegetación Hidrófila. La extensión mínima fue de 50 ha con base en los insumos de INEGI.	Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición <i>in situ</i> , y con una extensión mínima de 1 ha. Se incluyeron todos aquellos tipos de vegetación que, de acuerdo con los criterios fisonómico-estructurales, tienen dominancia de especies leñosas de porte arbóreo, tales como bosques templados y selvas. Además, se incluyeron los tipos de vegetación de matorrales xerófilos, vegetación hidrófila y otros tipos, con dominancia de especies leñosas de porte arbustivo y arborescente. No se incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.

<sup>10</sup> Términos y Definiciones. FRA 2015. FAO, 2012. Evaluación de los recursos forestales Mundiales 2015. Informe Nacional México.

En resumen, la definición de bosque del NREF 2020 es parcialmente consistente con la definición de bosque utilizada en el INEGI para el sector 3B Tierra de la 6ª C.N. y el BUR2 (INECC-SEMARNAT, 2018b). Ambas definiciones son consistentes en 3 de los 4 criterios que definen al concepto de bosque como se muestra en el **Cuadro 7**:

**Cuadro 7.** Comparación de criterios de la definición de Bosque implementada entre la 6ª CN/BUR2 y el presente NREF.

CRITERIO	NREF 2020	INEGyCEI-3B Tierra (6ª C.N. y BUR2)
Tipos de vegetación considerados como Bosque (Tierras Forestales)	Mismos tipos de vegetación del SCUSyV del INEGI (vegetación leñosa)	Mismos tipos de vegetación del SCUSyV del INEGI (vegetación leñosa)
Cobertura de dosel mínima	10%	10%
Altura mínima de árboles (o capacidad para alcanzarla <i>in situ</i> )	4 m	4 m
Extensión mínima	1 ha	50 ha

SCUSyV: Sistema de Clasificación de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI

Como puede observarse, el único criterio diferente es la extensión mínima de bosque. Esto se debe a que antes del NREF 2020, el único insumo disponible en el país para la obtención de DA, para todo el periodo histórico, eran las Series de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, que son mapas de cobertura terrestre con una UMM de 50 ha para los tipos de vegetación natural (incluyendo los bosques). Sin embargo, aun cuando la UMM de los mapas de INEGI (que determinó la extensión mínima de bosque) es de 50 ha, el proceso de análisis de incertidumbre para la generación de DA insesgados en el INEGI (6ª C.N. y BUR2) incluyó un Muestreo Aleatorio Estratificado (MAE) con una Unidad de Muestreo de 1 ha (subsección “Enfoque de estimación de datos insesgados de actividad”, pág. 436 (INECC-SEMARNAT 2018b). En este sentido, es importante resaltar el peso o importancia que tiene el muestreo (y su correspondiente interpretación visual aumentada) para generar DA insesgados: MAE en el caso del INEGyCEI y Muestreo Sistemático Estratificado (MSE) en el caso del NREF 2020, ambos con una Unidad de Muestreo de 1 ha.

## 5.2. Definición de deforestación

### 5.2.1. Definición legal

La LGDFS define la “deforestación” como la **Pérdida de la vegetación forestal** en forma permanente, por causas inducidas o naturales (Art. 7, Frac. XVIII).

### 5.2.2. Definición IPCC

El IPCC define la deforestación como la conversión directa inducida por el hombre de tierra forestal (boscosa) a tierra no forestal (IPCC, 2019).

### 5.2.3. Definición operativa

El presente NREF incluye las emisiones asociadas a la deforestación bruta. Se consideró como “Deforestación” a la pérdida de cobertura de Bosque (como se define en la sección 5.1.3) con cambio de uso de suelo forestal a no forestal de forma permanente.

En términos operativos la “Deforestación” incluyó el conjunto de cambios de cualquier tipo de vegetación de tierras forestales a cualquier tipo de uso de suelo y vegetación de tierras no forestales (praderas, agricultura, humedales, asentamientos humanos u otras tierras). El periodo de análisis

para la aplicación de esta definición operativa fue de 2000 a 2018. Se consideró deforestación cuando, después de la pérdida de cobertura forestal de una porción de tierra, no se presentó recuperación de la cobertura de vegetación leñosa en los años subsecuentes y sí existió evidencia de cambio de uso de suelo de manera permanente (en todo el periodo de análisis).

Para identificar un proceso de deforestación se deben cumplir todos los siguientes criterios:

1. Cobertura de tierra forestal antes de la perturbación.
2. Pérdida total de la cobertura de vegetación leñosa (o reducción de la cobertura de dosel por debajo del umbral mínimo del 10%) durante todo el periodo de análisis.
3. Evidencia de cambio de uso de suelo forestal a no forestal (conversión de tierra forestal a tierra no forestal: praderas, agricultura, humedales, asentamientos humanos u otras tierras) de manera permanente, es decir, durante todo el periodo de análisis.
4. No se observa ninguna recuperación de la vegetación leñosa de bosque (o al menos no por encima del umbral de 10% de cobertura de dosel) durante todo el periodo de análisis.
5. La perturbación no se refiere a la pérdida de cobertura causada por aprovechamiento forestal o por incendios que no causen un cambio de uso del suelo de manera permanente.

De los criterios anteriores se desprende que una porción de tierra forestal que presentó un proceso de deforestación queda excluida de la categoría IPCC de Tierras Forestales después de la perturbación y durante el resto del periodo de análisis. Por esta razón, después del cambio dicha porción de tierra no estuvo sujeta a posibles conversiones de Tierras No Forestales a Tierras Forestales, lo que evita una posible doble contabilidad de las superficies deforestadas. Los aspectos metodológicos que garantizan evitar la doble contabilidad se describen en la sección 8.1.1.

Como se mencionó en la sección 5.1.3., las plantaciones forestales son consideradas como Tierras Forestales. La conversión de bosques naturales a plantaciones forestales en el país esta prohibida con base en el artículo 78 de la LGDFS. Si esta conversión implicara una disminución de los contenidos de carbono, se trataría como una Degradación Forestal Parcial, bajo la misma lógica en cómo una extracción ilegal de madera puede provocar una Degradación Forestal Parcial. Si esta conversión implicara un incremento de las existencias de Carbono, se excluiría de la contabilidad y de un posible esquema de PPR por no respetar la salvaguarda E de REDD+ (decisión 1/CP.16).

Un caso específico de deforestación es el que sucede de la conversión de una Tierra Forestal (incluyendo a los Bosques naturales) a Humedal siempre y cuando este cambio sea permanente en todo el periodo analizado. La clase de humedal según la definición de INEGI incluye cuerpos de agua naturales (ríos, lagos y mar), cuerpos de agua gestionados (presas) e infraestructura acuícola. Cabe señalar que, en el presente nivel de referencia no se identificaron conversiones de Tierras Forestales hacia humedales en el periodo de análisis 2000-2016.

#### 5.2.4. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores

La definición del presente NREF es consistente con los reportes previos: NREF 2015 (CONAFOR, 2015), 1er BUR (INECC-SEMARNAT, 2015), e INEGyCEI del segundo BUR (INECC-SEMARNAT, 2018b) y 6ª CN (INECC-SEMARNAT, 2018a), en los cuales se consideró como “deforestación” el conjunto de cambios de cualquier clase de vegetación de tierras forestales a cualquier clase de uso de suelo y vegetación de tierras no forestales (praderas, agricultura, humedales, otras tierras o asentamientos humanos) (**Cuadro 8**).

**Cuadro 8.** Comparación con definiciones de deforestación en reportes nacionales previos

1er NREF 2015	1er BUR 2015	FRA 2015	6ta CN y 2do. BUR (2018)	2º NREF (2020)
Las tierras forestales que cambiaron a tierras no forestales	Área que cambió de una fase forestal a cualquier	La conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción permanente de la	Es el conjunto de cambios de cualquier clase de vegetación de tierras forestales (TF) a cualquier clase de uso de suelo y vegetación de tierras no	Cambio de cualquier tipo de vegetación de tierras forestales a cualquier tipo de uso de suelo y vegetación de tierras no forestales

1er NREF 2015	1er BUR 2015	FRA 2015	6ta CN y 2do. BUR (2018)	2° NREF (2020)
por avance de la frontera agrícola o urbana	tipo de uso no forestal	cubierta de dosel, por debajo del umbral mínimo del 10 % <sup>11</sup> .	forestales (tierras praderas, tierras agrícolas, humedales, otras tierras y asentamientos humanos).	(praderas, agricultura, humedales, otras tierras o asentamientos humanos) de forma permanente.

### 5.3. Definición de degradación forestal

#### 5.3.1. Definición legal

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) define “Degradación” como 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 (Art. 3, Frac. XV).

En la LGDFS (Art. 7, Frac. XIX) se define “Degradación” como el proceso de disminución de la capacidad de los ecosistemas forestales para brindar servicios ambientales, así como capacidad productiva.

#### 5.3.2. Definición operativa

Para el presente reporte se consideró “degradación forestal” a la disminución de carbono por pérdida de cobertura de bosque asociada a perturbaciones principalmente antrópicas.

Es importante enfatizar que, con base en los insumos, en este reporte solo abordaremos una parte importante de la degradación forestal referida como “Degradación forestal absoluta” (DFA) (Figura 10) que se refiere a la disminución de carbono por remoción o pérdida total de la cobertura de dosel en el Bosque, pero sin cambio de uso de suelo de forma permanente (en todo el periodo de análisis restante, posterior a la perturbación). La degradación forestal como pérdida parcial, no fue posible abordarla, debido principalmente a las limitaciones técnicas de las imágenes Landsat. Todos los posibles casos de degradación forestal parcial están considerados como permanencias de Tierras Forestales con contenidos de carbono constantes a lo largo de todo el periodo de análisis.



**Figura 10.** La “degradación forestal absoluta” representa una porción de la degradación forestal.

En términos operativos, la degradación forestal absoluta, que se cuantifico en el presente NREF, es el conjunto de cambios de disminución de carbono por pérdida total de la cobertura de vegetación leñosa a partir de una perturbación, que no implica un cambio de uso de suelo forestal a no forestal permanente y a partir del momento en que se observó la perturbación en una porción de Tierra forestal, no existió evidencia de ninguna recuperación de la cobertura de vegetación leñosa (o al

<sup>11</sup> Términos y Definiciones. FRA 2015. FAO. 2012.

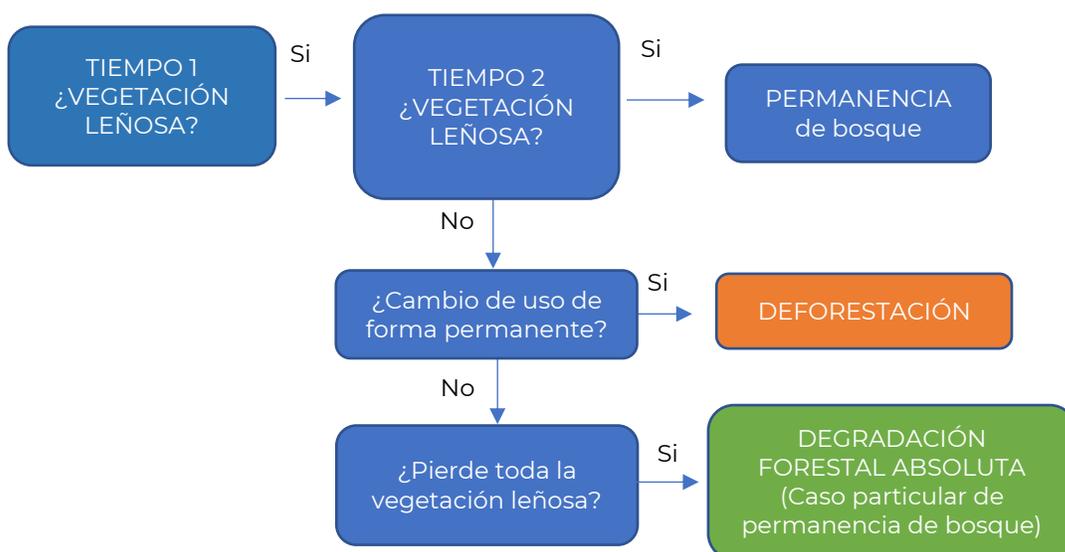
menos no por arriba de los umbrales de la definición de bosque) durante todo el periodo de análisis restante. Las actividades por aprovechamiento forestal no se consideran como degradación forestal absoluta.

Los criterios para la identificación de la degradación absoluta fueron:

1. Presencia de cobertura de vegetación leñosa en el inicio del periodo y hasta antes de la perturbación.
2. Identificación de pérdida completa de la cobertura de vegetación leñosa en algún momento del periodo de análisis.
3. No muestra ninguna evidencia de recuperación de la cobertura de vegetación leñosa (o al menos no por arriba de los umbrales de la definición de bosque) a partir de la perturbación y todo el periodo de análisis restante.
4. No existe evidencia de cambio de uso de suelo forestal a uno no forestal (agrícola, pecuario, asentamientos) de forma permanente (en todo el periodo de análisis).

En forma esquemática se presentan los criterios para la identificación de deforestación y degradación forestal absoluta (

**Figura 11).** Los aspectos metodológicos se detallan en la sección 8.1.1.



**Figura 11.** Criterios para la identificación de Deforestación y Degradación forestal absoluta.

Una porción de tierra forestal que presentó un proceso de DFA, presentó pérdida completa de la cobertura de vegetación leñosa una sola vez durante el periodo de análisis y con eso se evitó la doble contabilidad. Los criterios metodológicos específicos para la identificación de la DFA y para evitar la doble contabilidad se abordan en la sección 8.1.1.

La diferencia fundamental entre la deforestación y degradación forestal absoluta es el cambio de uso de suelo permanente que ocurre en la deforestación después de la pérdida de vegetación leñosa. Esta diferencia está motivada en los conceptos de deforestación y degradación forestal de la LGDFS. El proceso que ocurre en las porciones de Tierra etiquetadas con degradación forestal absoluta es consistente con el concepto de degradación descrito en esta Ley y no es consistente con el de deforestación de la misma Ley.

Para el país es importante identificar las porciones de tierra que presentan un proceso de DFA y diferenciarlas de aquellas con procesos de deforestación para evitar alentar cambios de uso de suelo permanentes en porciones de tierras forestales degradadas. Pues el hecho de etiquetar una porción de tierra como deforestada sin evidencia de cambio de uso de suelo permanente equivale a determinar que dicha parcela dejó de ser un terreno forestal, lo que tiene implicaciones legales bajo la LGDFS y más aún podría alentar cambios de uso de suelo permanentes en dichas porciones de tierras forestales degradadas. Por otro lado, es probable que las políticas públicas específicas o estrategias de intervención específicas para afrontar la deforestación y la degradación forestal absoluta sean diferentes en algunos casos, por lo que cuantificar la magnitud e identificar ambos procesos, así como entender las causas de la pérdida total de la cobertura forestal, resulta relevante para el diseño de dichas políticas.

Es importante mencionar que en el país no existe un requerimiento legal para asignar una categoría de uso del suelo diferente a una porción de tierra durante un proceso de cambio de cobertura de la tierra antes de un evento de deforestación. Sin embargo, hemos considerado DFA por las razones antes mencionadas. Una parcela etiquetada con DFA sigue siendo una Tierra Forestal. Después de un evento de deforestación, tampoco existe un requerimiento legal para asignar una categoría de uso del suelo diferente a Tierra Forestal. De hecho, la deforestación es considerada como un acto ilegal, según la legislación mexicana, a menos que el cambio de uso de suelo cuente con una autorización, por excepción, en apego al Art. 93 de la LGDFS.

### 5.3.3. Nivel de Consistencia con Reportes Nacionales Anteriores

En los reportes previos del NREF 2015 (CONAFOR, 2015), 1er BUR (INECC-SEMARNAT, 2015), e INEGyCEI de la Sexta CN y 2do BUR (INECC-SEMARNAT, 2018a, 2018b) se consideró “degradación” al conjunto de cambios de una misma clase de vegetación de tierras forestales en fase primaria a la misma clase de vegetación en fase secundaria (INEGI, 2017b) (**Cuadro 9**). En el presente reporte no se considera la degradación por disminución de carbono en el mismo tipo de vegetación. No obstante, con base en los insumos del enfoque de muestreo del sistema SAMOF, se considera la degradación forestal absoluta que implica la remoción total de la cobertura de la vegetación leñosa viva.

**Cuadro 9.** Definición de degradación forestal en Reportes nacionales previos

1er NREF 2015	1er BUR 2015	FRA 2015	6ta CN y 2do. BUR (2018)	2° NREF (2020)
Reducción en el contenido de carbono en la vegetación natural debido a la intervención humana. Aquellas áreas cuya condición primaria, cambió a una secundaria; registrando una pérdida de carbono de las tierras forestales	Área que cambió de una fase de desarrollo de la vegetación primaria en las categorías de Tierras Forestales, a una de condición secundaria dentro de la categoría de Tierras Forestales	La disminución de la capacidad del bosque para suministrar bienes y servicios <sup>12</sup>	Es el conjunto de cambios de una misma clase de vegetación de Tierras Forestales en fase primaria (Bosque de Encino-BE/P, por ejemplo) a la misma clase de vegetación en fase secundaria (BE/S). Los cambios asociados a la disminución de la cubierta forestal de la vegetación, relacionada con la disminución de su cobertura y su altura arbórea, y representada por las fases de vegetación secundaria para la misma clase de vegetación	Disminución del contenido de carbono por pérdida completa de la cobertura de vegetación leñosa, sin cambio de uso de suelo de forma permanente (en todo el periodo de análisis).

## 6. ALCANCES DEL NREF

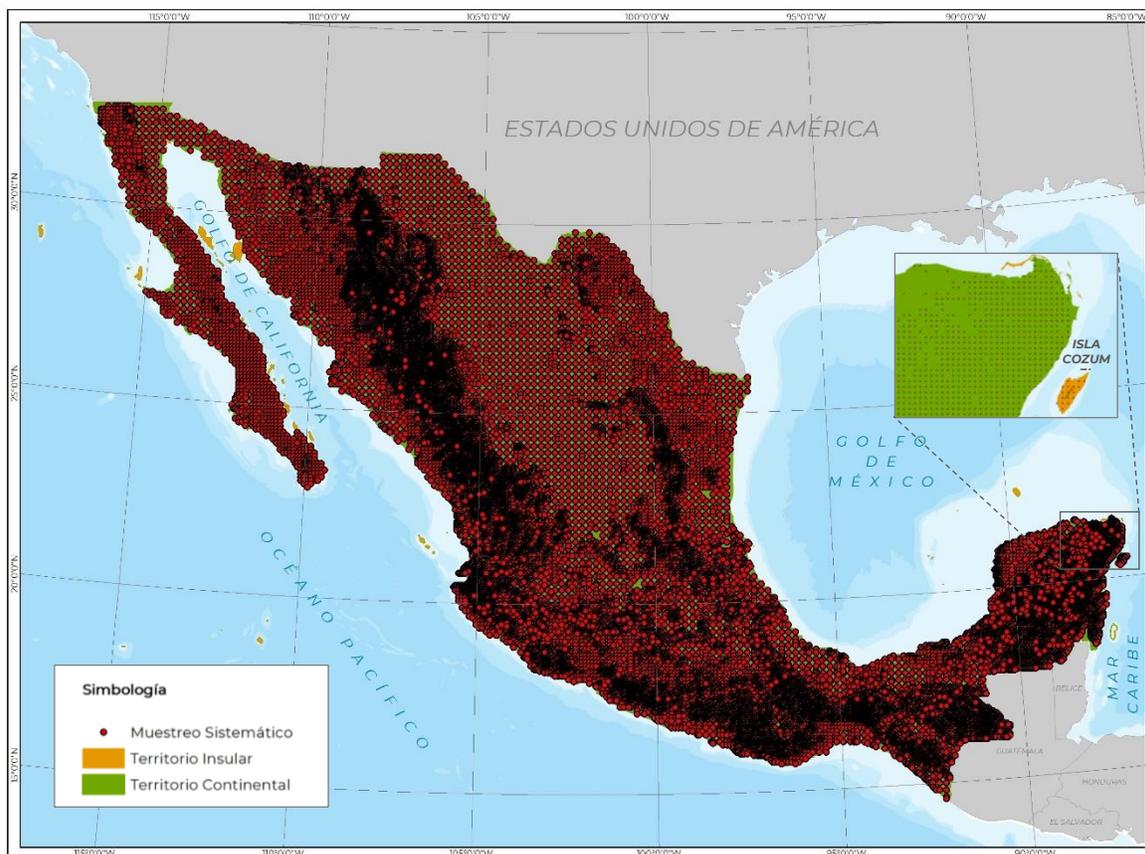
### 6.1. Escala espacial

<sup>12</sup> Términos y Definiciones. FRA 2015

El área de contabilidad del NREF corresponde al territorio continental de México más una parte pequeña del territorio insular del país conformada por la isla Cozumel, y asciende a 194,077,596 ha. Esta área de contabilidad fue definida en función de la superficie cubierta por el INFyS y la Malla de Muestreo Sistemático, que son las principales fuentes de datos para el presente NREF. El área de contabilidad excluye el resto del territorio insular de México (**Figura 12**).

El área de contabilidad es menor que la superficie continental de México (196,018,900 ha) reportada en la sección 2.1, debido a que el área de estudio del INFyS está basada en el mapa de la Serie II de USyV del INEGI, el cual excluye una superficie considerable de cuerpos de agua continentales.

La escala nacional ha sido elegida para este NREF por las mismas razones que en el NREF anterior: (i) es de interés para el país conocer las emisiones brutas por deforestación y degradación forestal en todo el territorio nacional y establecer su relación con el monitoreo de la NDC; (ii) la política pública y las acciones de mitigación vinculadas con REDD+ están siendo implementadas a nivel nacional: la ENAREDD+ tiene un marco de actuación y de coordinación interinstitucional a nivel nacional, que involucra la participación de los tres órdenes de gobierno y de la sociedad civil, y que articula un conjunto de políticas públicas nacionales que promueven acciones de mitigación y adaptación a través de un manejo integral del territorio y (iii) existen suficientes insumos y capacidades institucionales para realizar la contabilidad de emisiones de GEI a nivel nacional, de acuerdo con el alcance definido en esta sección.



**Figura 12.** Área de contabilidad del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México

## 6.2. Periodo de referencia

El periodo histórico de referencia establecido para el NREF es 2007-2016. La elección de este periodo se basó fundamentalmente en las razones técnicas siguientes:

1. Disponibilidad de los datos del INFyS. Si bien el periodo histórico de análisis de la dinámica de la superficie forestal del país, a través del muestreo sistemático, abarca el periodo 2000-2016, los datos necesarios para estimar el contenido de carbono empezaron a colectarse en 2004 con la implementación del 1er Ciclo del INFyS. Más aún, no fue sino hasta el año 2006 que se logró colectar alrededor del 85% de la muestra total de los conglomerados del INFyS. En 2007 se completó el 100% de la colecta de campo del 1er Ciclo del INFyS.
2. Mejora en el enfoque de contabilidad empleado para cambios en el contenido de carbono. A diferencia del enfoque utilizado en el primer NREF ( $DA*FE=Emisiones$ ), el enfoque metodológico del presente NREF utiliza los contenidos de carbono a nivel de conglomerado y contabiliza las diferencias de existencias a nivel nacional, considerando dichos contenidos a ese nivel de desagregación. Como el 1er Ciclo del INFyS obtuvo una muestra suficiente hasta el año 2006, en el periodo anterior (2000-2005) no es posible adjudicar directamente un contenido de carbono a las parcelas con la categoría de Tierras Forestales y, por tanto, no es posible aplicar un enfoque de “diferencia de existencias” como se está aplicando a partir del año 2007 (restando las existencias de 2006) hasta 2016 (restando las existencias de 2015).
3. Elección del inicio del periodo de referencia. La transición hacia un enfoque de contabilidad basado en “diferencia de existencias” del carbono, impone una cota inferior al periodo de referencia del NREF: el año 2007. La amplitud del periodo de referencia fue establecida en 10 años (2007-2016), dadas las siguientes razones: (i) el *scorecard* del Programa Piloto para Pago por Resultados (PPR) REDD+ del Fondo Verde para el Clima establece que el periodo de referencia más óptimo es de 10-15 años, (ii) este Programa Piloto considera los PPR expost logrados después de la adopción del Marco de Varsovia para REDD+ en diciembre 2013 y antes del 31 de diciembre de 2018 y (iii) se considera que dicho periodo es representativo de las tendencias más recientes de las emisiones por deforestación y degradación forestal.

El periodo de referencia 2007-2016 es coherente con recientes hitos importantes en la política pública para REDD+ en México. La ENAREDD+ fue publicada en 2017 y su marco de actuación, basado en la coordinación interinstitucional para un manejo integrado del territorio, es a nivel nacional. En este marco, a finales de 2016, la CONAFOR y la anterior Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) firmaron un Convenio de Colaboración para alinear las políticas agropecuarias y forestales y promover estrategias conjuntas para mitigar el cambio climático en las áreas forestales. Este convenio fue implementado durante 2017 y 2018, de manera acorde y con rubros adicionales al quehacer habitual de los programas de subsidio de la CONAFOR.

Adicionalmente, en el marco de la IRE (CONAFOR, 2017b), que es un programa piloto para implementar el enfoque de REDD+ de México a nivel subnacional (5 estados con altas tasas de deforestación en el país: Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Chiapas y Jalisco), durante 2017 y 2018, la CONAFOR firmó un acuerdo de coordinación con cada entidad federativa con la finalidad de fortalecer las actividades específicas en cada estado para atacar las causas directas y subyacentes de la deforestación y la degradación forestal. Muchas de las actividades que actualmente realizan dichos estados están basadas en el diagnóstico de la IRE y en las actividades establecidas en dichos acuerdos.

A finales de 2018 y a partir de 2019, la nueva política forestal, representada principalmente por el PRONAFOR 2019-2024, reconoce que los procesos de deforestación y degradación de los recursos forestales tienen orígenes tanto internos como externos al sector forestal, por lo que solamente a través de una perspectiva de transversalidad en las acciones y políticas públicas y con un enfoque territorial, será posible reestructurar y reducir las presiones que existen sobre los ecosistemas forestales.

México, a través de su PRONAFOR 2014-2019, amplió la coordinación institucional con la actual Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) para fortalecer las acciones concretas de manejo, protección y conservación de los ecosistemas forestales para mantener el capital natural y contribuir a la mitigación del cambio climático. La nueva política forestal también plantea la coordinación con la Secretaría de Bienestar, específicamente en el Programa Sembrando Vida (<https://www.gob.mx/bienestar/acciones-y-programas/programa-sembrando-vida>).

Es importante hacer énfasis en las acciones tempranas que México ha desarrollado para REDD+ durante el periodo de referencia elegido. Destaca el Proyecto de Bosques y Cambio Climático que fue implementado de 2012 a 2017 a nivel nacional, y con énfasis en los estados de la IRE. Este proyecto logró aumentar la superficie forestal bajo manejo sustentable vigente en el área de implementación y en el año 2017, el incremento fue superior al 36% comparado con el año base. Asimismo, el número de ejidos y comunidades beneficiadas vigentes aumentó de 1,923 a 2,622 desde el inicio del proyecto. También se desarrolló el Programa Específico de Intervención Institucional para la Atención a Pueblos Indígenas y la Transversalización de la Perspectiva de Género y se implementaron acciones para asegurar una asistencia técnica de calidad a los ejidos y comunidades.

En el marco de este proyecto se reconoció el éxito de la CONAFOR en la implementación de las salvaguardas ambientales y sociales, el cual respondió en gran medida, al diagnóstico ambiental, social y legal, el establecimiento de requisitos y buenas prácticas y al mantenimiento de esquemas permanentes de modificaciones y mejora continua en las Reglas de Operación de la CONAFOR.

La naturaleza de las acciones tempranas para REDD+ producen efectos inmediatos (como los generados por la protección de los ecosistemas bajo el Programa de PSA), pero también efectos a mediano plazo (como aquellos derivados del fortalecimiento de las capacidades de los ejidos y comunidades forestales, y como el fortalecimiento de la coordinación interinstitucional para una mejor toma de decisiones). Por ello, los efectos de estas acciones serán producidos más allá de su periodo de implementación.

### 6.3. Periodo de validez

Para estimar las emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GyCEI) en el sector forestal de México se identificaron un conjunto de insumos y a partir de ellos se establecieron supuestos, definiciones y enfoques metodológicos que son válidos para el periodo de análisis 2000-2018 y que además están diseñados para evitar la sub o sobreestimación de las emisiones en este periodo como se describe en la sección 7.

Se considera que el enfoque metodológico del presente NREF se puede extender como máximo al 2020 en virtud del conocimiento que se tiene de las dinámicas de regeneración y de conversión del uso del suelo en el país. Extender la aplicación de este enfoque hasta el 2020, implicará revisar cuidadosamente que se sigan cumpliendo los supuestos y las definiciones para garantizar que se evite la doble contabilidad.

### 6.4. Actividades REDD+

De las 5 actividades REDD+ consideradas en el párrafo 70 de la Decisión 1/CP.16, el presente NREF incluye la actividad de **reducción de las emisiones debidas a la deforestación y parcialmente la actividad de reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal**. En el NREF sólo se incluyen las emisiones de una parte importante de la degradación forestal referida como "degradación forestal absoluta" que consiste en la reducción del contenido de carbono debida a la remoción o pérdida total de la cobertura de dosel en el bosque, pero sin que esto implique un cambio de uso del suelo de forma permanente (en todo el periodo de análisis). Una definición más detallada de este tipo de degradación puede encontrarse en la sección 5.3.2.

En el **Cuadro 10** se detallan las actividades REDD+ incluidas en el NREF, así como la justificación de su omisión (o abordaje parcial) y los principales elementos de mejora técnica futura, como parte de un enfoque escalonado para mejorar los NR/NREF.

**Cuadro 10.** Actividades REDD+ incluidas en el NREF, justificación y elementos de mejora

Actividad REDD+	Inclusión en NREF	Contabilidad de GEI	Justificación de inclusión u omisión	Enfoque escalonado
a) La reducción de las emisiones debidas a la deforestación	Sí	Deforestación bruta	<p>Según los datos del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N., en el año 2015 las emisiones por deforestación bruta representaron el 97% de las emisiones brutas de la categoría de Tierras Forestales del sector 3B. Tierra.</p> <p>La principal meta específica de mitigación de la NDC de México en el sector USCUS es la reducción de la tasa de deforestación bruta al año 2030. Esta meta específica tiene el mayor potencial de mitigación de todas las metas correspondientes al sector USCUS (<a href="http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257">http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257</a>).</p>	Se explorará la factibilidad de desagregar las estimaciones de emisiones por deforestación bruta por ecorregión nivel 2 o superior.
b) La reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal	Parcialmente	Degradación forestal absoluta	<p>Según los datos del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N., en el año 2015 las emisiones por degradación forestal representaron el 3% de las emisiones brutas de la categoría de Tierras Forestales del sector 3B. Tierra. Se identificó como un área de oportunidad, mejorar las estimaciones por degradación forestal ya que los insumos utilizados para los DA (series de INEGI) no fueron diseñados para cuantificar los procesos de degradación forestal.</p> <p>En este NREF sólo se incluyen las emisiones debidas a una parte importante de la degradación forestal: la degradación forestal asociada a una pérdida completa de la cobertura de vegetación leñosa sin que exista un cambio de uso de suelo permanente en el bosque degradado o "degradación forestal absoluta" (ver sección 5.3.2).</p> <p>No fue posible incluir las emisiones por degradación forestal asociada a una pérdida parcial de la cobertura de vegetación leñosa, ya que el método usado para la determinación de la dinámica de la superficie forestal utiliza imágenes de mediana resolución (Landsat), sobre las cuales existen limitaciones técnicas para determinar la disminución parcial de la cobertura de vegetación leñosa.</p> <p>Por otra parte, bajo el enfoque de muestreo sistemático utilizado en el presente NREF, existen limitaciones para estimar las reducciones de carbono en cada unidad de muestreo sólo a través de los datos del INFyS, debido a que:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Las etiquetas del tipo de vegetación/uso del suelo de los conglomerados del INFyS provienen principalmente de la cartografía de las Series de USyV del INEGI y no de la información colectada en campo.</li> <li>No se siguió un enfoque panelizado en la implementación del 1er ciclo del INFyS.</li> </ol>	<p>El enfoque metodológico para estimar las emisiones del NREF (ver sección 7) se considera más robusto que los reportes anteriores (INEGI y 1er NREF), ya que los datos del INFyS se usaron de manera más directa y detallada (a nivel de parcela), de manera consistente con el método "stock difference".</p> <p>Para subsanar la limitación de la cuantificación de la reducción parcial de la cobertura leñosa en el enfoque de muestreo, en el corto plazo se utilizarán imágenes de alta resolución (a partir de 2011 para el caso de RapidEye).</p> <p>Además, el 3er ciclo del INFyS está diseñado con sitios permanentes respecto del 2º ciclo.</p>
c) La conservación de las reservas forestales de carbono	No	No	Aunque México cuenta con información espacialmente explícita sobre las áreas bajo algún esquema de conservación, el tamaño de muestra del enfoque usado en este NREF es insuficiente para determinar las variaciones de carbono (por deforestación, reforestación, degradación forestal o por aumento en los acervos forestales de carbono) a nivel de dichas áreas (ANP o PSA).	Cuando se complete el 3er Ciclo del INFyS, y cuando se implemente la interpretación aumentada del muestreo sistemático con imágenes de muy alta resolución, se podrán cuantificar las

Actividad REDD+	Inclusión en NREF	Contabilidad de GEI	Justificación de inclusión u omisión	Enfoque escalonado
			Se asume que las emisiones por deforestación y degradación forestal en las áreas bajo conservación ya están cuantificadas en las actividades a) y b).	variaciones de Carbono (por degradación forestal o por aumento en los acervos) debidas a las actividades c), d) y e) de manera conjunta al menos a nivel nacional.
d) La gestión sostenible de los bosques	No	No	<p>Se considera que esta actividad podría ser significativa (en términos del aumento en los acervos de carbono), ya que su potencial de mitigación ocupa el 2º lugar en la NDC-USCUISS (<a href="http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257">http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/257</a>).</p> <p>México cuenta con información detallada y espacialmente explícita de la mayoría de los predios bajo manejo forestal sustentable en el territorio nacional.</p> <p>Sin embargo, el tamaño de muestra del enfoque usado en este NREF es insuficiente para determinar las variaciones de carbono (por deforestación, reforestación, degradación forestal o por aumento en los acervos forestales de carbono) a nivel de la superficie bajo manejo forestal sustentable.</p> <p>Se asume que las emisiones por degradación forestal en las áreas bajo Manejo Forestal Sustentable (MFS) ya están cuantificadas en la actividad b).</p>	<p>México explorará emplear en un futuro la información que se colecte a través de la Red Nacional de Sitios Permanentes de Monitoreo en Paisajes Productivos Forestales (<a href="http://forestales.ujed.mx/monafor/inicio/">http://forestales.ujed.mx/monafor/inicio/</a>).</p> <p>Cuando se complete el 3er Ciclo del INFyS, y cuando se implemente la interpretación aumentada del muestreo sistemático con imágenes de muy alta resolución, se podrán cuantificar las variaciones de carbono (por degradación forestal o por aumento en los acervos) debidas a las actividades c), d) y e) de manera conjunta al menos a nivel nacional.</p>
e) El incremento de las reservas forestales de carbono	No	No	<p>De la misma manera que en la actividad b), no fue posible incluir las absorciones asociadas a una ganancia parcial de la cobertura de vegetación leñosa, debido al uso de imágenes de mediana resolución (Landsat) y a las limitaciones del INFyS.</p> <p>Las áreas sujetas a un cambio de Tierras No Forestales a Tierras Forestales, identificadas por el método de muestreo, fueron excluidas del análisis de superficies ya que no es posible identificar la superficie que proviene de una transición de TNF-TF al inicio del periodo de análisis, lo que implica un sesgo en las estimaciones (ver sección 8).</p>	<p>Cuando se complete el 3er Ciclo del INFyS, y cuando se implemente la interpretación aumentada del muestreo sistemático con imágenes de muy alta resolución, se podrán cuantificar las variaciones de carbono (por degradación forestal o por aumento en los acervos) debidas a las actividades c), d) y e) de manera conjunta al menos a nivel nacional.</p>

## 6.5. Reservorios de carbono

De los 6 reservorios considerados por las directrices del IPCC (2006) para la estimación de cambios en las existencias de carbono, el NREF incluye las emisiones de 5 reservorios: biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS), madera muerta (MM), mantillo (M) y Carbono orgánico en el suelo (COS), para las actividades incluidas en este reporte. El **Cuadro 11** muestra la inclusión de dichos depósitos por actividad considerada.

**Cuadro 11.** Reservorios por cada actividad REDD+ considerados en el NREF

Actividad REDD+	Contabilidad de GEI	Reservorio de Carbono	Inclusión	Tier	Justificación de omisión
a) La reducción de las emisiones debidas a la deforestación	Deforestación bruta	Biomasa aérea	Sí	2	---
		Biomasa subterránea	Sí	1/2	---
		Madera muerta	Sí	2	---
		Mantillo (hojarasca y capa de fermentación)	Sí	2	---
		Carbono orgánico en el Suelo	Sí	2 con factores de cambio por defecto del IPCC	---
b) La reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal	Degradación forestal absoluta	Biomasa aérea	Sí	2	---
		Biomasa subterránea	Sí	1/2	---
		Madera muerta	Sí	2	---
		Mantillo (hojarasca y capa de fermentación)	Sí	2	---
		Carbono orgánico en el Suelo	Sí	2 con factores de cambio por defecto del IPCC	---

### 6.5.1. Carbono post-cambio (Deforestación y DFA)

Para la deforestación y DFA, sí se contabilizó el carbono post-cambio cuando hubo datos disponibles del INFyS. En caso contrario, se asumió la pérdida total del contenido de carbono. Es decir, sí se consideran las absorciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) posteriores a la deforestación o DFA cuando se tuvo información registrada en el INFyS. En el caso del reservorio de carbono orgánico en el suelo, sí se consideraron los datos de existencias de carbono post-cambio que toman en cuenta los factores de cambio del uso de suelo después de la conversión, así como los regímenes de gestión y aportes de materia orgánica, obtenidos del IPCC (2006). En la sección 8.1.1. dichos procesos se describen con mayor detalle.

### 6.6. Gases

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el único GEI incluido en el presente NREF. Las fuentes de emisiones de otros gases no-CO<sub>2</sub> que podrían resultar significativas para México son los incendios forestales y los procesos de deforestación/degradación forestal en manglares. Según los datos del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N., en el año 2015 las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) derivadas de los incendios forestales ocurridos en ese año ascendieron a 229,000 t de CO<sub>2</sub>-eq, lo que equivale al 1.10% de las emisiones de CO<sub>2</sub> por deforestación y degradación forestal en ese mismo

año. Naturalmente, este porcentaje puede variar considerablemente en los años atípicos de alta ocurrencia de incendios forestales.

La CONAFOR está recopilando la serie de datos histórica completa de incendios forestales a nivel nacional para poder replicar las estimaciones del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª C.N. para los gases CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

Con respecto a las emisiones de CH<sub>4</sub> derivadas de los procesos anaeróbicos como resultado de la deforestación y degradación forestal en manglares, la CONAFOR tiene una ruta crítica a mediano plazo para implementar en los próximos inventarios-USCUSS las directrices del suplemento 2013 a las directrices IPCC 2006 para humedales, en estrecha coordinación con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

## **7. ENFOQUE METODOLÓGICO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES**

Las emisiones consideradas en el NREF (por deforestación y degradación forestal absoluta) fueron calculadas con base en las diferencias de las existencias de carbono de todas las tierras forestales de México por cada dos años consecutivos de todo el periodo de análisis, usando el método de “diferencia de existencias” de acuerdo con las Directrices del IPCC 2006. En esta sección se describen los pasos generales del enfoque metodológico de estimación de dichas emisiones, con base en las ecuaciones fundamentales establecidas por el IPCC (2006). Además, esta sección también brinda una justificación de la elección del método de “diferencia de existencias” para calcular los cambios en los almacenes de carbono forestal en México, en el marco del alcance del NREF.

### **7.1. Estratificación de las tierras forestales de México**

El área de contabilidad (escala nacional) del NREF fue definida en función de la superficie cubierta por las dos principales fuentes de insumos utilizados para estimar las emisiones: el INFyS y la Malla de Referencia (enfoque de muestreo sistemático del Sistema SAMOF) (ver sección 6.1). Estos instrumentos de colecta de datos sobre las tierras forestales de México tienen una cobertura nacional, una serie temporal histórica consistente y adecuada, así como el mismo diseño de muestreo.

El INFyS y la Malla de Referencia tienen un diseño de muestreo sistemático estratificado, basado en una estratificación que establece tres distanciamientos (o intensidades de muestreo) entre unidades de muestreo, según los grandes grupos de vegetación de México: 5x5km para bosques y selvas, 10x10km para comunidades semiáridas y 20x20km para comunidades áridas. Con la finalidad de estratificar las tierras forestales en unidades más homogéneas, se utilizaron las 7 ecorregiones terrestres de México (que son regiones biogeográficas con ecosistemas y fisiografía característicos, ver sección 8.1.1.) para definir subestratos mediante el cruce de dichas ecorregiones con los estratos del diseño de muestreo del INFyS (ecorregión x intensidad de muestreo). Por ejemplo, un subestrato definido de esta manera consiste en la unidad territorial correspondiente a la ecorregión 3 “Elevaciones Semiáridas Meridionales” con una intensidad de muestreo (o distanciamiento) de 5x5km.

### **7.2. Existencias anuales de carbono a nivel nacional para la categoría de Tierras Forestales**

Las existencias anuales de carbono forestal fueron estimadas a nivel de subestrato, para luego ser agregadas al nivel del estrato principal de interés que es la ecorregión terrestre. Finalmente, las estimaciones de las existencias de carbono forestal de cada una de las siete ecorregiones fueron agregadas para determinar las existencias anuales de carbono de todas las tierras forestales a nivel nacional. Este procedimiento se muestra en el **Cuadro 12**.

**Cuadro 12.** Ecuación para la estimación de las existencias anuales de carbono para las tierras forestales de México a partir de la estratificación en siete ecorregiones

EXISTENCIAS ANUALES DE CARBONO A NIVEL NACIONAL PARA LA CATEGORÍA DE TIERRAS FORESTALES COMO LA SUMA DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO DE CADA UNA DE LAS ECORREGIONES DENTRO DE LAS TIERRAS FORESTALES
$C_{TF} = \sum_{i=1}^7 C_{TF_i}$
<p>Donde:</p> <p><math>C_{TF}</math>: Existencias de carbono para la categoría de Tierras Forestales</p> <p><math>i</math>: indica una de las siete ecorregiones terrestres en las que fue estratificada la categoría de Tierras Forestales</p> <p><math>i</math>: 1 a 7</p>

Las existencias anuales de carbono para un estrato (o subestrato) de las tierras forestales de México se estimaron sumando las existencias de todos los depósitos incluidos en el NREF como se muestra en el **Cuadro 13**. Ecuación para la estimación de las existencias anuales de carbono para una ecorregión como la suma de las existencias de los depósitos incluidos en el NREF.

EXISTENCIAS ANUALES DE CARBONO PARA UN ESTRATO (ECORREGIÓN) DE LA CATEGORÍA DE TIERRAS FORESTALES COMO LA SUMA DE LAS EXISTENCIAS DE LOS DEPÓSITOS INCLUIDOS EN EL NREF
$C_{TF_i} = C_{AB} + C_{BB} + C_{DW} + C_{LI} + C_{SO}$
<p>Donde:</p> <p><math>C_{TF_i}</math>: existencias de carbono para un estrato (ecorregión) de la categoría de Tierras Forestales</p> <p>Los subíndices se refieren a los sigs. depósitos de carbono:</p> <p>AB = biomasa aérea</p> <p>BB = biomasa subterránea</p> <p>DW = madera muerta (árboles muertos en pie + tocones + material leñoso caído)</p> <p>LI = mantillo (hojarasca + capa de fermentación)</p> <p>SO = suelos</p>

### 7.3. Cambios en las existencias de carbono con base en el método de “diferencia de existencias”

Los cambios anuales en las existencias de carbono a nivel nacional, se estimaron con el método de “diferencia de existencias” según la ecuación 2.3 del volumen 4 de las Directrices del IPCC 2006 como se muestra en el **Cuadro 14**.

**Cuadro 14.** Método de diferencia de existencias (IPCC, 2006) para la estimación de los cambios en las existencias de carbono a nivel nacional según la diferencia anual de las existencias en dos años consecutivos

IPCC	APLICACIÓN AL NREF
<b>ECUACIÓN 2. 5.</b> CAMBIOS EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO SEGÚN LA DIFERENCIA ANUAL PROMEDIO ENTRE ESTIMACIONES EN DOS MOMENTOS DIFERENTES ( <b>MÉTODO DE DIFERENCIA DE EXISTENCIAS</b> )	<b>ECUACIÓN 2. 5.</b> CAMBIOS EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO SEGÚN LA DIFERENCIA ANUAL DE LAS EXISTENCIAS EN DOS AÑOS CONSECUTIVOS ( <b>MÉTODO DE DIFERENCIA DE EXISTENCIAS</b> )
$\Delta C = \sum \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{(t_2 - t_1)}$	$\Delta C = \sum \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{(t_2 - t_1)}$
Donde:  $\Delta C$ : cambios en las existencias anuales de carbono, t C año <sup>-1</sup>  $C_{t_1}$ : reservas de carbono en el momento $t_1$ , en toneladas de C  $C_{t_2}$ : reservas de carbono en el momento $t_2$ , en toneladas de C	Donde:  $\Delta C$ : cambios en las existencias anuales de carbono, t C año <sup>-1</sup>  $C_{t_1}$ : reservas de carbono en los 5 depósitos para la categoría de Tierras Forestales en el año $t_1$ , en toneladas de C  $C_{t_2}$ : reservas de carbono en los 5 depósitos para la categoría de Tierras Forestales el año $t_2$ , en toneladas de C

El método de “diferencia de existencias”, de acuerdo con Ravindranath y Ostwald (2008), incluye todos los procesos que causan cambios en un reservorio. Las existencias de carbono se estiman para cada reservorio en dos puntos en el tiempo ( $t_1$  y  $t_2$ ). Los cambios en las existencias de carbono, para una categoría de uso del suelo particular (o un estrato de ella) se estiman de la siguiente manera (Ravindranath y Ostwald, 2008):

- Estimar la existencia de un reservorio en el  $t_1$  y repetir la medición para estimar la existencia en  $t_2$ .
- Estimar el cambio en la existencia de un reservorio específico restando a la existencia del  $t_2$  la existencia del  $t_1$ .
- Para obtener el cambio anual en la existencia, dividir la diferencia de existencias entre la duración del periodo en años ( $t_2 - t_1$ ).
- Si las estimaciones son hechas a partir de parcelas de muestreo, extrapolar a unidades/ha.
- Para obtener el total de una categoría (o un estrato de ella), extrapolar la estimación por hectárea al área total de la categoría de uso de suelo.

Según el IPCC (2006), la elección del método (“diferencia de existencias” o “pérdidas y ganancias”) para estimar los cambios en las existencias de carbono en cada reservorio deberá tomar en cuenta la opinión de expertos, teniendo en cuenta los sistemas nacionales de inventario, la disponibilidad de datos y de información como datos de la actividad, los factores de conversión y de expansión, así como el análisis de costo-beneficio. Las Directrices del IPCC (2006) también establecen lo siguiente:

- El método de “diferencia de existencias” requiere inventarios de las existencias de carbono en biomasa para una superficie de tierra dada, en dos momentos diferentes.

- El Método de diferencia de existencias se aplica en los países que cuenten con sistemas nacionales de inventario de bosques, donde las existencias de los diferentes depósitos de biomasa se miden a intervalos periódicos.
- Este método es apropiado para países que adopten un método del Nivel 3 (se utilizan sistemas de medición de inventario) y, en algunos casos, uno de Nivel 2 (se aplican factores de cambio en las existencias que se basan en datos específicos del país).
- Este método ofrece estimaciones más fiables para incrementos o reducciones de biomasa relativamente grandes.
- Si los inventarios periódicos ofrecen estimaciones de existencias de materia orgánica muerta, además de las existencias en crecimiento, con el método de “diferencia de existencias” no es necesario contar con datos adicionales sobre mortalidad y pérdidas para estimar la transferencia a materia orgánica muerta, productos de madera recolectada y emisiones provocadas por perturbaciones.

De acuerdo con Ravindranath y Ostwald (2008), el enfoque de “diferencia de existencias”, es más adecuado para estimar cambios en las existencias de carbono para estudios relacionados con la mitigación del cambio climático, así como para la conservación de tierras y el desarrollo de proyectos, debido a las siguientes razones:

- En el enfoque de “diferencia de existencias” es más sencillo de contabilizar los cambios en las existencias de todos los reservorios importantes, para obtener cambios por hectárea a pesar de que la frecuencia de medición de los cinco reservorios sea diferente.
- El enfoque de “pérdidas y ganancias” requiere estimaciones de tasas de crecimiento y pérdidas de carbono de los reservorios, los cuales de hecho se pueden obtener a través del enfoque de “diferencia de existencias”.
- Es difícil estimar pérdidas debido a la extracción, incendios y otras causas en un área de análisis.
- El enfoque de “pérdidas y ganancias” requiere evaluaciones de la transferencia anual de biomasa a la hojarasca, madera muerta y carbono orgánico en el suelo, lo cual requiere un esfuerzo adicional importante.

Tomando en cuenta estas directrices y considerando las dos fuentes principales de insumos de los que México dispone para elaborar el NREF (INFyS y Malla de Muestreo Sistemático del Sistema SAMOF), se eligió el método de “diferencia de existencias” por las siguientes razones específicas:

- ❖ El INFyS es un instrumento que colecta suficientes datos de campo para estimar las existencias de carbono de los 5 reservorios considerados en el NREF. Cuenta con datos de dos ciclos de muestreo concluidos (el 1er ciclo de 2004-2007 y el 2º ciclo de 2009-2014) y el 3er ciclo está en proceso (2015 a la fecha).
- ❖ Los 3 ciclos del INFyS mantienen consistencia metodológica en términos del diseño de muestreo, área de las unidades de muestreo y protocolo de levantamiento de datos de campo.
- ❖ La Malla de Muestreo Sistemático del Sistema SAMOF fue construida sobre el mismo diseño de muestreo del INFyS. Esta consistencia metodológica en términos espaciales permitió combinar ambos instrumentos para obtener estimaciones más finas y precisas.
- ❖ Aun cuando en México existe información valiosa que podría ser utilizada para aplicar el enfoque de “pérdidas y ganancias”, esta información tiene las siguientes limitaciones:
  - Las tasas de crecimiento y decremento de carbono de los cinco reservorios no tienen una cobertura nacional consistente o al menos la información no está sistematizada.
  - La información sobre pérdidas (principalmente sobre perturbaciones) está dispersa, la mayoría de ella es espacialmente referenciada y no espacialmente explícita, y no cubre una serie temporal consistente lo suficientemente amplia.
  - Una buena parte de la información proviene de estudios a nivel local (o regional en el mejor de los casos) cuya aplicabilidad en la escala nacional no puede asegurarse, por ejemplo: la información sobre la transferencia anual de biomasa a la hojarasca, madera muerta y carbono orgánico en suelos.

Además, esta decisión es consistente con las recomendaciones que diferentes expertos internacionales del Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS por sus siglas en inglés), SilvaCarbon y de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) han emitido como parte de los procesos de retroalimentación, revisión y/o evaluación de los INEGI del BUR1 y de la 6ª CN/BUR2, así como del primer NREF. Cabe mencionar que en dichos reportes el enfoque de “diferencia de existencias” no pudo ser implementado debido a que las etiquetas de uso de suelo y tipos de vegetación de cada unidad de muestreo del INFyS fueron asignadas empleando como insumo las clases de los mapas de Uso de Suelo y Tipo de Vegetación del INEGI (los cuales tienen una UMM de 50 ha y una escala de 1:250,000 que los hace inapropiados para dicha tarea) y no la información de campo levantada directamente por el INFyS. Lo anterior representó una importante limitante para aplicar el método de “diferencia de existencias” en un sentido más estricto, razón por la cual en todos los reportes pasados se usó el enfoque clásico de  $DA \times FE = \text{Emisiones}$ .

#### 7.4. Aplicación práctica del método de “diferencia de existencias”

En esta subsección se presenta una síntesis del proceso de aplicación práctica del método de “diferencia de existencias” para obtener los cambios anuales en los almacenes de carbono para cada reservorio incluido en el presente NREF, tomando en cuenta las circunstancias nacionales, así como las características y alcances de la información disponible.

El objetivo de esta subsección es brindar un panorama general del proceso metodológico que siguió México para calcular las existencias anuales de carbono (y sus variaciones) para cada reservorio. Para ello, a continuación, se enlistan los principales pasos metodológicos. Más adelante, en las secciones 8, 9 y 10 se describe a profundidad cada uno de ellos, incluyendo definiciones, descripción de insumos, métodos específicos, descripciones ilustrativas, procesos de escalamiento y resultados intermedios.

1. Mediante la implementación del enfoque de muestreo sistemático del Sistema SAMOF, cada una de las 26,220 parcelas de la Malla de Referencia fue etiquetada con una de las seis categorías IPCC en cada año del periodo de análisis: 2000-2016. Cada parcela tiene un diseño cuadrado de 100 x 100 m y se localizó en la coordenada central de los conglomerados (CGL), que son las unidades de muestreo primarias (UMP) del INFyS. El proceso de etiquetado anual de cada parcela fue realizado a través de un análisis de fotointerpretación de imágenes satelitales utilizando la herramienta *Collect Earth* y con base en las definiciones de tipos de vegetación y usos del suelo de la “Guía para la interpretación de cartografía Uso del Suelo y Vegetación” del INEGI (INEGI, 2017b). Las clases INEGI, determinadas mediante dicho análisis, fueron agregadas posteriormente a las categorías IPCC empleando una tabla de correspondencia consistente con el **Cuadro 5**.
2. Con los resultados de la fotointerpretación de la Malla de Referencia, se elaboró una **Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**. Esta matriz consiste en una tabla rectangular de datos que contiene 26,220 filas (una fila por parcela fotointerpretada) y 18 columnas (en la primera columna se almacenó el ID de cada parcela y de la columna 2 a la 18 se registraron las categorías IPCC para cada parcela, para cada año del periodo de análisis 2000-2016 (en la subsección 8.1.1 se aborda con detalle).
3. Se estimaron los contenidos de carbono por área muestreada en cada CGL (t C/0.16 ha para BA y MM, 7.2m<sup>2</sup> para mantillo y 1 ha para COS) y por CGL (ha) para el primer y segundo ciclo del INFyS, obtenidos con datos de campo del INFyS para los reservorios de BA, BS, MM y mantillo, y con datos nacionales (Guevara *et al.*, 2020a,b) para el caso de COS.
4. Las bases de datos de los contenidos de carbono por CGL (ha) se combinaron con la **Matriz Multitemporal de Categorías IPCC** para generar Matrices de Contenidos de Carbono para cada reservorio. La matriz de cada reservorio consiste en una tabla rectangular de datos que

contiene 26,220 filas (una fila por parcela fotointerpretada) y 18 columnas (en la primera columna se almacenó el ID de cada CGL del INFyS y de la columna 2 a la 18 se registraron los contenidos de carbono para cada CGL, para cada año del periodo de análisis 2000-2016).

5. Para estimar las existencias anuales de carbono a nivel nacional para cada reservorio se implementaron los pasos siguientes:
  - a) Se obtuvieron las cantidades promedio de carbono (t C/ha) (a partir de las Matrices de Contenidos de Carbono), mediante estimadores de razón, de la categoría de Tierras Forestales en cada sustrato (ecorregión x intensidad de muestreo) (usando la **Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**).
  - b) La cantidad promedio de carbono forestal (t C/ha) de un sustrato específico se multiplicó por el área de dicho sustrato, lo que resultó en las existencias de carbono de las Tierras Forestales en todo ese sustrato para cada año del periodo de análisis.
  - c) Las existencias anuales de carbono de las Tierras Forestales para cada sustrato fueron agregadas a nivel de ecorregión (que es el estrato principal de interés) y luego a nivel nacional.
  - d) Las existencias anuales de carbono de cada reservorio a nivel nacional se sumaron para obtener las existencias anuales totales (incluidos los 5 reservorios) de carbono de todas las Tierras Forestales de México.
6. Finalmente, los cambios anuales en las existencias de carbono de todas las Tierras Forestales de México se estimaron mediante la diferencia de dichas existencias correspondientes a cada dos años consecutivos del periodo de análisis.

### **7.5. Enfoque de estimación de emisiones por deforestación y degradación forestal absoluta**

Las emisiones de las actividades REDD+ incluidas en el NREF fueron calculadas con base en las diferencias anuales de las existencias de carbono de todas las tierras forestales de México, para un reservorio dado. Estas diferencias anuales de existencias representan únicamente las emisiones por deforestación bruta y por degradación forestal absoluta. En otras palabras, no es posible que dichas variaciones anuales se deban a las variaciones de carbono causadas por degradación forestal parcial, por incremento en acervos de carbono en tierras forestales o por la conversión de tierras no forestales a tierras forestales, por las siguientes razones:

1. El enfoque de diferencia de existencias aplicado en la construcción de este NREF no se basó en la comparación de los contenidos de carbono en una misma parcela en dos ciclos sucesivos del INFyS, debido a que no fue posible realizar un monitoreo en sitios estrictamente permanentes entre el 1er y el 2º ciclo del INFyS.
2. Como se explicó en las subsecciones anteriores, el método de diferencia de existencias se aplicó al nivel nacional, comparando las existencias de carbono forestal, para un reservorio dado, entre cada dos años consecutivos de todo el periodo de análisis.
3. Los contenidos de carbono asignados a las parcelas catalogadas como tierras forestales fueron tomados únicamente de un ciclo del INFyS (principalmente del segundo ciclo) y se mantuvieron constantes durante todo el periodo de análisis, a menos que se hubiese detectado una perturbación (deforestación o degradación forestal absoluta) en cuyo caso se asumió una pérdida total del stock de carbono (cuando hubo datos disponibles del INFyS, sí se estimó el carbono post-perturbación).
4. Lo anterior implica que, a causa de las limitaciones de los insumos del INFyS, se asumió neutralidad en el incremento o decremento de los contenidos de carbono en las permanencias de tierras forestales (diferentes a degradación forestal absoluta). En otras palabras, no fue posible medir la degradación forestal parcial ni los incrementos en los acervos de carbono en los bosques que permanecieron como tales.
5. Los incrementos en los acervos de carbono forestal debidos a las conversiones de otros usos a tierras forestales fueron abordados, únicamente en el marco del presente NREF, como

permanencias de tierras no forestales, con la finalidad de no afectar la estimación de emisiones de las actividades consideradas en el NREF.

Los puntos anteriores pueden resumirse en el **Cuadro 15**:

**Cuadro 15.** Abordaje de la contabilidad de los cambios en las existencias de carbono en el NREF según el tipo de dinámica o transición de las tierras forestales de México

Conversión o permanencia	Transición o dinámica específica	Efecto en las existencias de carbono	Abordaje en el NREF
<b>Tierras forestales a otros usos</b>	Deforestación bruta	Disminución	Cuantificación de la disminución
<b>Tierras forestales que permanecen como tierras forestales</b>	Degradación forestal parcial	Disminución	Se asume neutralidad en los cambios en las existencias de carbono
	Incrementos en los acervos de carbono	Aumento	Se asume neutralidad en los cambios en las existencias de carbono
	Degradación forestal absoluta	Disminución	Cuantificación de la disminución
<b>Otros usos a tierras forestales</b>	Recuperación de la cobertura forestal (Regeneración natural, reforestación o forestación)	Aumento	Se consideran permanencias de TNF y se asume neutralidad en los cambios en las existencias de carbono

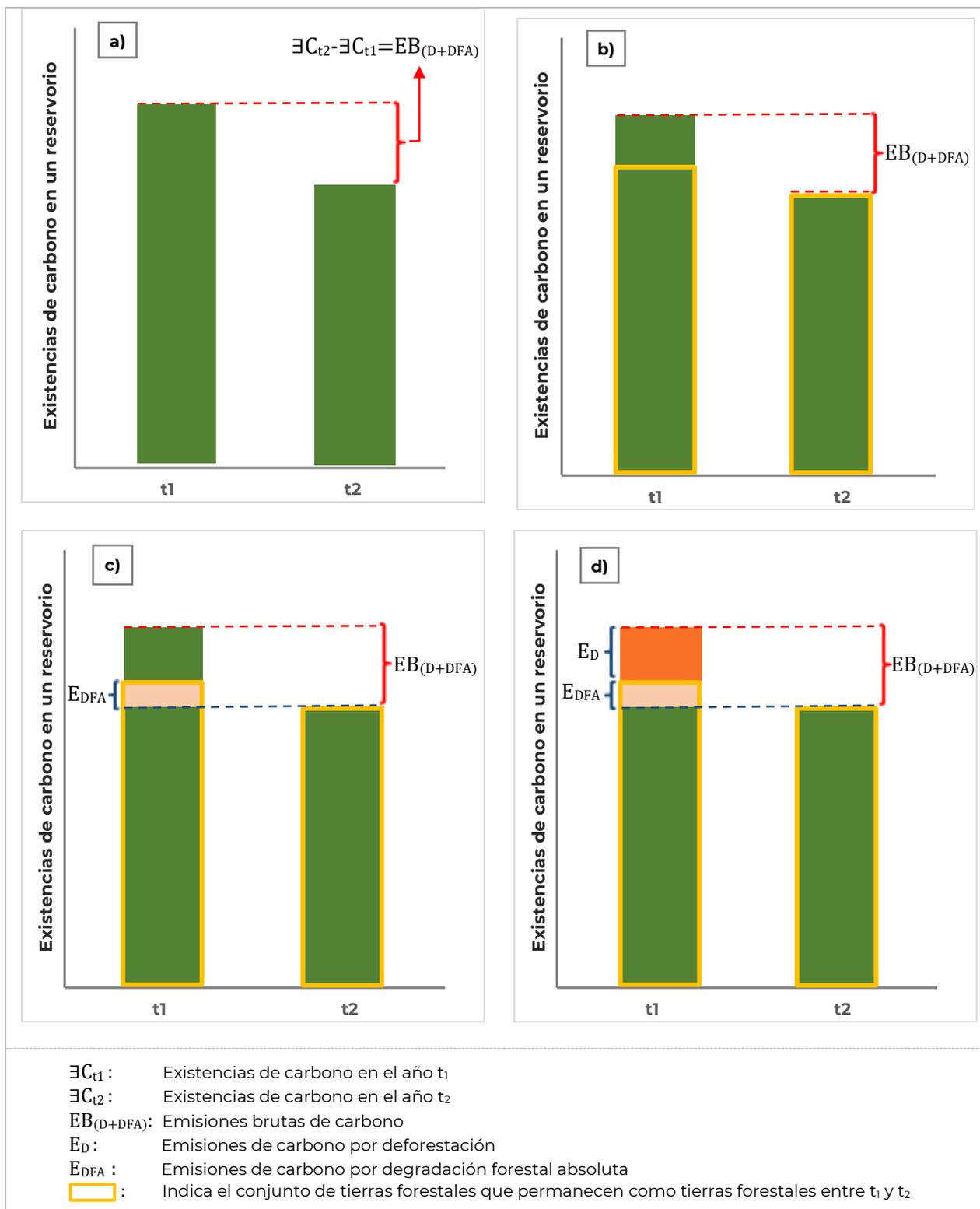
Por lo tanto, las diferencias anuales de las existencias de carbono de todas las tierras forestales de México, para un reservorio dado, se refieren únicamente a las emisiones generadas por deforestación bruta y por degradación forestal absoluta. Es importante mencionar que la neutralidad en los cambios en las existencias de carbono, asumida en las otras transiciones específicas, no genera ningún tipo de sesgo sobre las estimaciones de las emisiones consideradas en el NREF.

A continuación, se describe de manera gráfica el proceso de desagregación de las emisiones por deforestación bruta y por degradación forestal absoluta:

1. Tomemos como ejemplo las existencias de carbono de todas las tierras forestales de México, para un reservorio dado, en dos años consecutivos. La diferencia de existencias corresponde a las emisiones brutas (suma de emisiones por deforestación y emisiones por degradación forestal absoluta) ocurridas del año  $t_1$  al año  $t_2$  (**Figura 13a**).

Nótese que las existencias de carbono en el año  $t_2$  corresponden a las tierras forestales que permanecieron como tierras forestales del año  $t_1$  al año  $t_2$ . Nótese también que estas tierras forestales que permanecieron son un subconjunto de las tierras forestales que existieron en el año  $t_1$ . Dicho subconjunto está indicado en los recuadros amarillos de la **Figura 13b**. Ambos recuadros o barras amarillas corresponden al mismo conjunto de permanencias de tierras forestales, pero tienen distintas existencias de carbono en los años  $t_1$  y  $t_2$ . La diferencia de dichas existencias se corresponde con las emisiones de carbono causadas por la degradación forestal absoluta (**Figura 13c**), por las razones resumidas en el **Cuadro 13**.

2. Finalmente, las emisiones por deforestación resultaron de la diferencia entre las emisiones brutas y las emisiones por degradación forestal absoluta, como se muestra en la **Figura 13d**.



**Figura 13.** Ilustración del proceso de desagregación de las emisiones por deforestación bruta y por degradación forestal absoluta, a partir del método de diferencia de existencias usado en el NREF

Es importante mencionar que los cambios en las existencias de carbono para el reservorio de COS se estimaron con un enfoque diferente, debido al alcance de los insumos disponibles. Para el caso de COS, las existencias se estimaron con datos nacionales a nivel Tier 2 (al igual que el resto de los reservorios), pero los cambios en las existencias fueron estimados con factores por defecto de acuerdo con la ecuación 2.25 del volumen 4 de las Directrices del IPCC 2006 (para más detalles, ver sección 9.1.2.3).

## 7.6. Áreas de mejora futura para consolidar el enfoque de diferencia de existencias

Aun cuando el método de “diferencia de existencias” no pudo ser utilizado a nivel de parcelas del INFyS, la manera en la que se utilizó en el presente NREF para estimar los cambios en las existencias de carbono representa un avance importante respecto de los procesos de estimación de emisiones en todos los reportes anteriores (incluyendo el INEGEI-USCUSS de la 6ª CN/BUR2 y el primer NREF). De hecho, puede decirse que el enfoque de diferencia de existencias usado en este NREF sería equivalente al método de  $DA \times FE = Emisiones$ , pero con las siguientes ventajas respecto de los reportes pasados:

- a) La implementación de la malla de muestreo sistemático del Sistema SAMOF permitió mejorar la definición operativa de bosque, reduciendo el área mínima de 50 ha a 1 ha.
- b) La información sobre la superficie de tierras forestales y su dinámica (obtenida de la malla de muestreo sistemático) equivale a emplear DA a nivel de sub-estrato (es decir, a nivel subnacional), que incluyen un análisis completo de incertidumbres, que son insesgados, que son capaces de captar o representar la variabilidad interanual y cuyas incertidumbres son menores que las del último INEGEI-USCUSS correspondiente a la 6ª CN/BUR2.
- c) La estimación de contenidos de carbono de este NREF equivale al uso de FE subnacionales a nivel de substrato, específicamente para el conjunto de parcelas deforestadas o con degradación forestal absoluta, que reflejan de manera más objetiva el contenido de carbono perdido después de la perturbación, en comparación con los FE nacionales generales utilizados en el primer NREF o en el INEGEI-USCUSS 6ª CN/BUR2, que representan el contenido de carbono de un grupo de vegetación distribuido en cualquier parte del territorio mexicano pero que no se limitan únicamente al subconjunto de vegetación deforestada.

México reconoce, a pesar de estas ventajas alcanzadas en el segundo NREF, la necesidad de consolidar en el corto o mediano plazo la implementación del método estricto de “diferencia de existencias”. A partir de este reconocimiento, México está implementando las siguientes acciones para mejorar los insumos y la aplicación de dicho enfoque:

- 1) El establecimiento de CGL estrictamente permanentes en el tercer ciclo del INFyS respecto a los CGL del segundo ciclo, para el monitoreo parcela a parcela y árbol-a-árbol.
- 2) El etiquetado de las unidades de muestreo del INFyS con la información del tipo de vegetación y uso de suelo levantada directamente en campo.
- 3) Se está avanzando hacia la detección de la degradación forestal parcial, con el uso de imágenes satelitales de alta y muy alta resolución, en el marco de la mejora continua del Sistema SAMOF.
- 4) La colecta anual de los datos de campo de los CGL del INFyS bajo un enfoque en paneles.

Finalmente, y de manera adicional, en el **Cuadro 16** se muestran las principales diferencias metodológicas y de insumos entre el primer NREF y el presente reporte.

**Cuadro 16.** Comparación del alcance y características metodológicas entre el primer NREF y el NREF actual

Característica principal	Primer NREF	Actual NREF
Cifra del NREF	44,388,620 t CO <sub>2</sub> -eq/año	20,245,016 t CO <sub>2</sub> -eq/año
Tipo y periodo de referencia del NREF	Promedio histórico 2000-2010	Promedio histórico 2007-2016
Escala espacial	Nacional	Nacional
Enfoque metodológico	DAxFE=Emisiones	Diferencia de existencias
Datos de actividad	Sin análisis de incertidumbres (sesgados)	DA insesgados, análisis de incertidumbres completo, representan variabilidad interanual
Factores de emisión	A nivel nacional, generales y por tipos de vegetación	FE subnacionales, a nivel de substrato y específicamente para las áreas deforestadas o con DFA
Insumos principales	Series de INEGI INFyS (1 ciclo)	Muestreo Sistemático (Malla de Referencia) del Sistema SAMOF INFyS (2 ciclos completos)
Actividades REDD+ incluidas	(a) Reducción de emisiones por deforestación (contabilidad de GEI: deforestación bruta)	(a) Reducción de emisiones por deforestación (contabilidad de GEI: deforestación bruta)  Parcialmente (b) Reducción de emisiones por degradación forestal (contabilidad de GEI: degradación forestal absoluta)
Reservorios incluidos	Biomasa aérea y biomasa subterránea	Biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, mantillo y carbono orgánico de suelo
Gases incluidos	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
Definición de bosque	Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición <i>in situ</i> , y con una extensión mínima de 50 ha.	Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición <i>in situ</i> , y con una extensión mínima de 1 ha.
Análisis de incertidumbres	Parcial. No se incluyó la incertidumbre asociada a DA	Completo, basado en el enfoque de muestreo

## 8. SUPERFICIES DE TIERRAS FORESTALES Y SU DINÁMICA

Como se mencionó en la sección anterior, uno de los dos insumos principales para estimar las emisiones del presente NREF es la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**” en la que para 26,220 parcelas (distribuidas de manera sistemática a lo largo del país) se tiene etiquetada la categoría o clase IPCC para cada año del periodo 2000-2016; por lo que para cada parcela se tiene identificada la evolución de sus categorías IPCC en el periodo de análisis.

Con este insumo es posible hacer un monitoreo del estado de los usos de la tierra para cada año y su dinámica interanual; toda vez que mediante el enfoque de muestreo pueden estimarse las superficies y los cambios en ellas (IPCC, 2006). Para estimar las emisiones del presente NREF no fue necesario estimar las superficies de tierras forestales ni sus cambios; sin embargo, es de interés del país generar estas estimaciones con fines de apoyar el diseño y focalización de políticas públicas en el sector; además, la estimación de tierras forestales y sus cambios también ha sido utilizada como parte de este reporte para contextualizar y caracterizar al sector forestal de México. Por lo tanto, en las siguientes secciones se describe el enfoque metodológico implementado y los resultados obtenidos en la estimación de superficies de tierras forestales y su dinámica empleando el enfoque de muestreo.

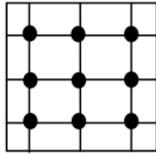
### 8.1. Enfoque metodológico de estimación

Considerando el tipo de insumos disponibles en el país para estimar superficies por medio de proporciones empleando el enfoque de muestreo, a continuación, se presentan los insumos y

metodología utilizada para la estimación de superficie de tierras forestales (ver sección 8.1.1) y de las dinámicas de las superficies de tierras forestales (ver sección 8.1.2).

### 8.1.1. Estimación de superficies de tierras forestales

Las superficies anuales de los usos y cobertura de la tierra se obtuvieron mediante la estimación de superficies por medio de proporciones. De acuerdo con el IPCC (2006), para aplicar este enfoque primero se debe conocer la superficie total del área de análisis o "Área de contabilidad". Con de esta información, es posible estimar las superficies de las diferentes categorías de uso de la tierra basándose en las evaluaciones de las proporciones de superficie. Cuando se aplica este método, se cubre la superficie de análisis por un determinado número de puntos de muestra y se determina el uso de la tierra para cada punto. Posteriormente, se calcula la proporción de cada categoría de uso de la tierra dividiendo la cantidad de puntos localizados en la categoría específica entre el número total de puntos muestreados. Las estimaciones de superficie para cada categoría de uso de la tierra se obtienen multiplicando la proporción de cada categoría por la superficie total. El cuadro 3A.3.1 de las Directrices del IPCC (2006) (**Figura 14**) proporciona un ejemplo de este procedimiento:

CUADRO 3A.3.1 EJEMPLO DE LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES POR MEDIO DE PROPORCIONES			
Procedimiento de muestreo	Estimación de proporciones	Superficies estimadas de categorías de uso de la tierra	Error estándar
	$p_i = n_i / n$	$A_i = p_i \cdot A$	$s(A_i)$
	$p_1 = 3 / 9 \cong 0,333$	$A_1 = 300 \text{ ha}$	$s(A_1) = 150,0 \text{ ha}$
	$p_2 = 2 / 9 \cong 0,222$	$A_2 = 200 \text{ ha}$	$s(A_2) = 132,2 \text{ ha}$
	$p_3 = 4 / 9 \cong 0,444$	$A_3 = 400 \text{ ha}$	$s(A_3) = 158,1 \text{ ha}$
	Suma = 1,0	Total = 900 ha	

Donde:

A = superficie total (= 900 ha en el ejemplo)

$A_i$  = superficie estimada de la categoría de uso de la tierra i

$n_i$  = cantidad de puntos ubicados en la categoría de uso de la tierra i

n = cantidad total de puntos

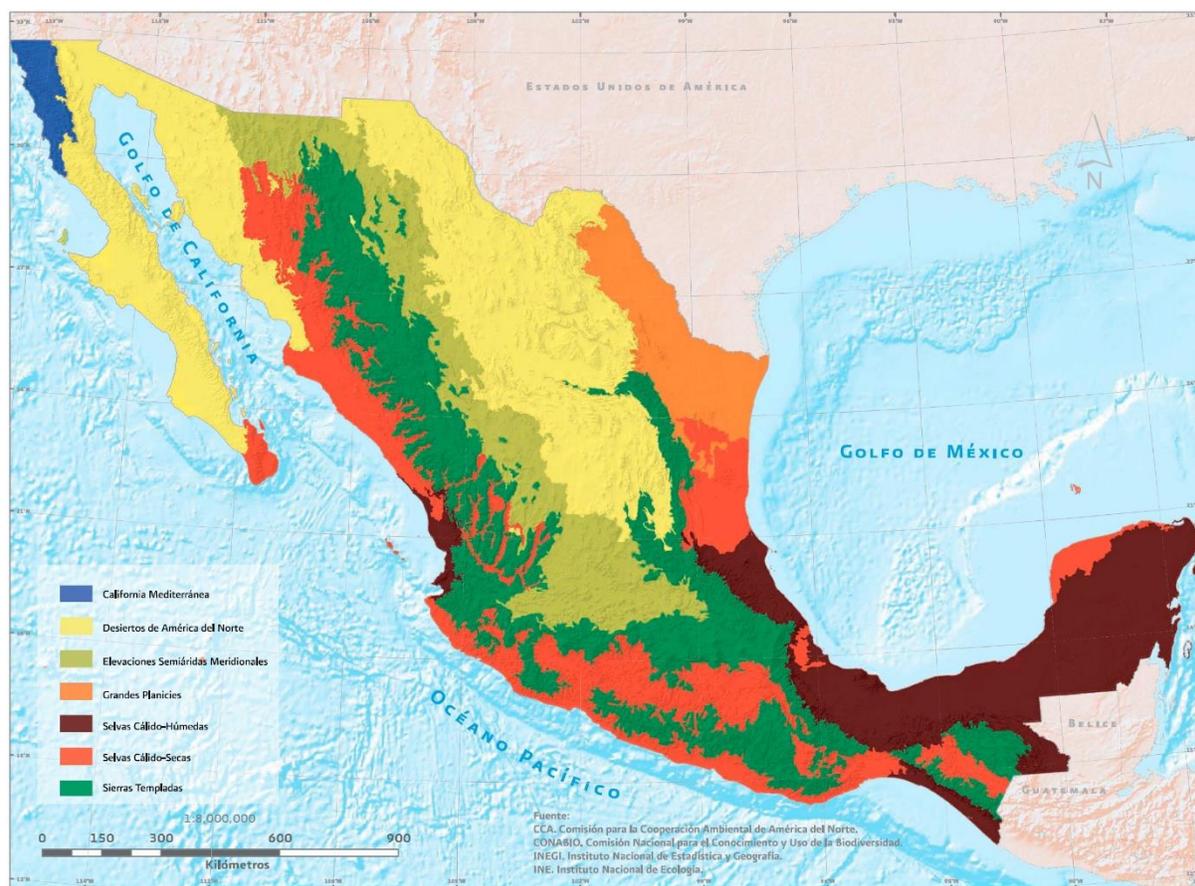
**Figura 14.** Estimación de superficies por medio de proporciones. Para el caso del presente documento, la descripción del "Área de contabilidad" se muestra en la siguiente sección, la descripción del procedimiento empleado para obtener los "Puntos de muestreo" se describe en la sección de "Insumos utilizados para la estimación de Tierras Forestales" y el procedimiento específico para estimar las superficies anuales de las categorías IPCC se describe en la sección de "Metodología empleada para la estimación de superficies de Tierras Forestales".

#### Área de contabilidad

El área de contabilidad del NREF tiene una escala nacional, está conformada por el territorio continental de México más la isla Cozumel, y asciende a 194,077,596 ha (ver sección 6.1). Esta área fue definida en función de la superficie cubierta por el diseño del INFyS y de la Malla de Muestreo Sistemático para el monitoreo de las categorías IPCC. Ambos instrumentos, están basados en una estratificación que establece tres distanciamientos entre unidades de muestreo, según los grandes grupos principales de vegetación bajo estudio: 5x5 km para bosques y selvas, 10x10km para comunidades semiáridas y 20x20km para comunidades áridas.

Con la finalidad de construir estratos aún más homogéneos que los considerados por el INFyS/ Malla de Muestreo Sistemático, el área de contabilidad del NREF se sub-estratificó empleando las 7 ecorregiones terrestres de México a nivel I (**Figura 15**). Las ecorregiones son unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos. Son una división de las grandes "ecozonas" o regiones

biogeográficas. Las divisiones políticas de municipios, estados y países no respetan los procesos ecológicos, por lo que es importante el desarrollo de políticas públicas que incluyan escalas espaciales adecuadas y que consideren la dinámica ambiental (INEGI-CONABIO-INE, 2008).



**Figura 15.** Ecorregiones terrestres de México (nivel I)

Una sub-estratificación de esta naturaleza permite gestionar la variabilidad de la dinámica de la superficie forestal y de las emisiones de GEI asociadas, en un país megadiverso. En la siguiente sección se describe el proceso de estimación de las superficies de Tierras Forestales por cada ecorregión y para cada intensificación (distanciamiento) de muestreo.

### ***Insumos utilizados para la estimación de Tierras Forestales***

El principal insumo utilizado para obtener, a nivel nacional las superficies totales anuales de Tierras Forestales en el periodo 2000-2016, fue la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**”.

La **Matriz Multitemporal de Categorías IPCC** se refiere a una tabla rectangular de datos en la que las filas contienen el identificador de las 26,220 parcelas muestreadas y en las columnas las clases IPCC de cada parcela para cada año del periodo 2000-2016.

La Matriz Multitemporal de Clases IPCC se elaboró en tres etapas:

- (i) Primero se realizó un **análisis de fotointerpretación** de imágenes satelitales al año 2000 y al año 2016 para identificar la clase INEGI<sup>13</sup> (incluida en el **Cuadro 5**) en 26,220

<sup>13</sup> La Clase INEGI se refiere a clase de Uso de Suelo y Tipo de Vegetación definidas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), corresponden a grandes grupos de vegetación o comunidades vegetales que agrupan distintos tipos de

- parcelas localizadas sobre las coordenadas centrales de los conglomerados (CGL) del INFyS y, en caso de que hubiese ocurrido uno o más cambios de clase INEGI entre el año 2000 y 2016 se identificó el año específico de cambio y la clase INEGI pre y post-cambio y,
- (ii) Con base en la información obtenida a partir de la fotointerpretación, se generó una matriz con 26,220 filas y 18 columnas, llamada **“Matriz de Multitemporal de Clases INEGI”**. Las filas correspondieron a cada una de las parcelas muestreadas; en la columna 1 se almacenó el Id de cada parcela muestreada y de la columna 2 a la 18 se almacenó la clase INEGI de cada año para cada parcela muestreada.
  - (iii) La **“Matriz de Multitemporal de Clases INEGI”** fue agregada para elaborar la **“Matriz de Multitemporal de Categorías IPCC”** mediante el uso de una tabla de correspondencia entre las clases INEGI y las clases IPCC.

En las siguientes secciones se describe el proceso general empleado en la fotointerpretación de las parcelas muestreadas y los pasos empleados para la integración de la **“Matriz de Multitemporal de Clases INEGI”** y la **“Matriz de Multitemporal de Categorías IPCC”**.

### **Fotointerpretación de Parcelas**

A nivel nacional se fotointerpretaron 26,220 parcelas que fueron colocadas en las coordenadas centrales de los CGL del remuestreo del INFyS, los cuales están distribuidos sobre una malla sistemática que cubre todo el país a equidistancias de 5x5, 10x10 y 20x20 km dependiendo del tipo de vegetación. Las equidistancias entre los CGL del INFyS son de 5x5 km principalmente para bosques templados y selvas altas y medianas, 10x10 km principalmente para selvas bajas y ecosistemas semiáridos, y 20x20 km principalmente para ecosistemas áridos (**Figura 16**). Los 26,220 conglomerados del INFyS están distribuidos en todo el territorio continental de México más la isla Cozumel, que cubren una superficie de 194,077,596 ha.



**Figura 16.** Patrón de distribución de los CGL del INFyS en 3 estratos (5X5km, 10X10km y 20X20km)

Los elementos estadísticos bajo este diseño de muestreo permiten estimar la confiabilidad del inventario e intensificar el muestreo en zonas con mayor dinámica de cambio y con estructuras vegetativas más complejas (SEMARNAT *et al.*, 2004). El INFyS fue diseñado con la asesoría de expertos nacionales e internacionales sobre inventarios forestales, tal como se describe en el Documento Estratégico Rector del INFyS (SEMARNAT *et al.*, 2004). En este documento no se

---

vegetación con base en afinidades ecológicas, florísticas y fisonómicas, considerando que estas se agrupan en primera instancia por cuestiones climáticas, aunque en ocasiones los aspectos geológicos y topográficos toman una especial relevancia.

especifica el error permisible, ni los datos a priori usados para el diseño de la muestra, ni su representatividad. Sin embargo, los errores de muestreo de diferentes estimadores de variables dasométricas a nivel nacional calculados con el total de los datos de los CGL del INFyS tienen valores que oscilan entre 2 y 4%.

Estos niveles de error son menores a los errores permisibles (3 a 5%) utilizados en el diseño de la muestra del Análisis e Inventario Forestal (FIA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos (U.S. Forest Service, 2008; Bechtold y Patterson, 2005). Las muestras (plots) estimadas para el FIA están distribuidas aproximadamente a una equidistancia de 5.23 x 5.23 km (considerando el centro de cada hexágono) ([https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/qtr/qtr\\_srs080/qtr\\_srs080.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/qtr/qtr_srs080/qtr_srs080.pdf)).

Considerando los errores de muestreo que se han obtenido con los datos del INFyS para algunas variables dasométricas y la distribución espacial de los CGL, es razonable suponer que el tamaño de muestra del INFyS y la superficie muestreada es adecuada para obtener estimaciones precisas a nivel nacional.

La identificación de la clase INEGI (empleando imágenes satelitales) para el año 2016, 2000 y sus cambios, se realizó en parcelas ubicadas sobre las coordenadas centrales de los CGL del remuestreo (2009-2014) del INFyS; en caso de inaccesibilidad se consideró la ubicación de acuerdo con las coordenadas de campo del muestreo (2004-2009); finalmente si en ambas etapas los CGL fueron inaccesibles se consideró la ubicación teórica del CGL de acuerdo con las coordenadas de la malla original.

El número total de parcelas evaluadas fue de 26,220 que corresponden a la totalidad de los CGL del INFyS (CONAFOR, 2012, 2018). En el **Cuadro 17** se muestra la superficie total por ecorregión y equidistancia y el número de parcelas que fueron muestreadas.

Cada parcela fotointerpretada tuvo una superficie de 1 ha (100x100 m) con centro en las coordenadas del sitio 1 de los CGL del remuestreo del INFyS, a su vez, dentro de cada parcela se distribuyeron 25 puntos equidistantes de manera sistemática, separados a 20 m (**Figura 17**). Con base en esta referencia, el intérprete contabilizó los puntos que intersectaron con cada elemento, usándolos como guía para evaluar el porcentaje de cobertura de cada elemento dentro de la parcela.

**Cuadro 17.** Superficie total y número de parcelas muestreadas por ecorregión y equidistancia

Ecorregión-equidistancia	Superficie total (ha)	Número total de parcelas muestreadas
California Mediterranea - 10 x 10	1,543,616	142
California Mediterranea - 20 x 20	811,575	24
California Mediterranea - 5 x 5	160,671	64
Desiertos de America del Norte - 10 x 10	11,001,237	1,070
Desiertos de America del Norte - 20 x 20	43,808,402	1,118
Desiertos de America del Norte - 5 x 5	836,288	251
Elevaciones Semiaridas Meridionales - 10 x 10	1,336,497	130
Elevaciones Semiaridas Meridionales - 20 x 20	18,793,655	541
Elevaciones Semiaridas Meridionales - 5 x 5	2,731,139	945
Grandes Planicies - 10 x 10	5,312,481	520
Grandes Planicies - 20 x 20	5,202,305	146
Grandes Planicies - 5 x 5	160,022	58
Selvas Calido-Humedas - 10 x 10	2,274,559	318
Selvas Calido-Humedas - 20 x 20	10,997,511	420
Selvas Calido-Humedas - 5 x 5	14,179,090	5,264
Selvas Calido-Secas - 10 x 10	15,314,267	1,546
Selvas Calido-Secas - 20 x 20	12,235,142	330

Ecorregión-equidistancia	Superficie total (ha)	Número total de parcelas muestreadas
Selvas Calido-Secas - 5 x 5	4,217,740	1,471
Sierras Templadas - 10 x 10	3,204,549	380
Sierras Templadas - 20 x 20	11,194,475	397
Sierras Templadas - 5 x 5	28,762,375	11,080
Otras		5
Total	194,077,601	26,220



**Figura 17.** Diseño de las unidades de muestreo (parcelas).

En cada una de las 26,220 parcelas, como primer paso, se identificó para el año 2016, la clase de Uso de Suelo y Tipo de Vegetación definidas por el INEGI (2015 y 2017b), denominada “Clase INEGI”, empleando como insumos principales imágenes de alta y muy alta resolución (*Bing Maps, Yandex Maps, Google Earth Engine Code Editor y Google Earth Engine Explorer*) e información florística y dasométrica del INFyS. Además, con la clase INEGI identificada en el año 2016 y con un análisis multitemporal de imágenes de mediana (Landsat), alta y muy alta resolución se identificó la clase INEGI en el año 2000. Como parte del análisis multitemporal se identificó también el año de cambio en aquellas parcelas cuya clase INEGI cambió entre el año 2000 y el año 2016, el año de cambio se determinó en los casos cuando la cobertura de la imagen satelital (para una clase INEGI dada) a nivel de parcela cambió en más del 50% a otra clase INEGI. Toda esta información fue capturada en un formulario diseñado en la herramienta *Collect Earth* (<https://openforis.org/tools/collect-earth/>). La información capturada en este cuestionario fue almacenada en la “**Base de Datos de Fotointerpretación**”.

Los insumos, supuestos, criterios y metodología específica empleada para la interpretación visual de las 26,220 parcelas, al año 2016, 2000, y los respectivos años de cambio, mediante imágenes satelitales se describen a continuación.

### **Criterios de fotointerpretación para el año base “2016”**

La determinación de las clases de uso de suelo y vegetación del INEGI en el año base (2016), para cada parcela analizada, se realizó implementando los siguientes procedimientos:

#### **I. Determinación del número de clases INEGI presentes en la parcela**

Para determinar el número de clases INEGI presentes en la parcela, se empleó una imagen de alta resolución del año 2016. Se determinaron hasta dos clases INEGI. Dado que el área mínima de la definición de bosque es 1 ha, el criterio para definir la existencia de la clase 1 y la clase 2 se basó en que la cobertura de cada clase estuviera asociada a un polígono continuo  $\geq 1$  ha (**Figura 18**).



**Figura 18.** Determinación del número de clases INEGI en la parcela (la cobertura de cada clase debe estar asociada a un polígono continuo  $\geq 1$  ha)

## **II. Identificación de la clase o clases INEGI presentes en la parcela**

Para identificar la clase (o clases) INEGI presentes en la parcela, se llevó a cabo un proceso de fotointerpretación de imágenes de satélite de alta y muy alta resolución (disponibles en las plataformas Google Earth Pro, Yandex y Bing maps) y de mediana resolución (Landsat 5, 7 y 8 y Sentinel) si las primeras no estuvieron disponibles, así como otros insumos de apoyo con información geoespacial relevante (serie V de uso de suelo y vegetación del INEGI, polígonos de programas de manejo forestal comunitario y prácticas silvícolas apoyados por CONAFOR y cartografía del monitoreo de ecosistemas de manglar de México de la CONABIO) y con información de campo (información florística y dasométrica del INFyS).

La asignación de la clase o clases INEGI presentes en las parcelas se realizó con base en los criterios establecidos en el sistema de clasificación de uso de suelo y vegetación, según lo descrito en la *Guía para la interpretación de cartografía Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250, 000 Serie VI* (INEGI, 2017b). Esta guía contiene el sistema conceptual, los criterios, las definiciones y demás información relevante del principal sistema de clasificación de uso del suelo y vegetación del país. La clase INEGI se seleccionó con base en la información de dicha guía, que se agrupa en dos grandes conjuntos: (a) Información Agrícola-Pecuaria-Forestal (que caracteriza los diferentes sistemas manejados por el hombre y que constituyen los usos del suelo a partir de la modificación de la cobertura vegetal) y (b) Información Ecológica, Florística y Fisonómica (que incluye una caracterización profunda de los 58 principales tipos de vegetación de México).

El proceso de fotointerpretación se realizó por personal especializado y con una amplia experiencia en la aplicación de este sistema de clasificación. Parte de este personal cuenta con experiencia profesional en la elaboración y actualización de las cartas de uso de suelo y vegetación del INEGI. Se aseguró que la distribución espacial de la muestra (26,220 parcelas) se realizara con base en la experiencia profesional local y regional en el país de cada uno de los intérpretes.

El equipo de fotointérpretes mantuvo capacitación constante, mediante reuniones frecuentes para discusión de condiciones de interpretación difíciles, de intercambio de experiencias y de retroalimentación continua. Si bien el equipo de interpretación se formó por especialistas en fotointerpretación y monitoreo de recursos naturales, la formación profesional de cada uno de ellos (ingenieros forestales, ingenieros ambientales, ingeniería en recursos naturales, ingenieros agrónomos, biólogos con especialidad en análisis de comunidades vegetales y geógrafos especialistas en teledetección) contribuyó a establecer un grupo de trabajo multidisciplinario que abordó los retos en la interpretación de manera integral.

El proceso para realizar de manera correcta la asignación de la clase INEGI a las parcelas involucró criterios definidos de revisión y validación. De manera general el proceso se describe a continuación:

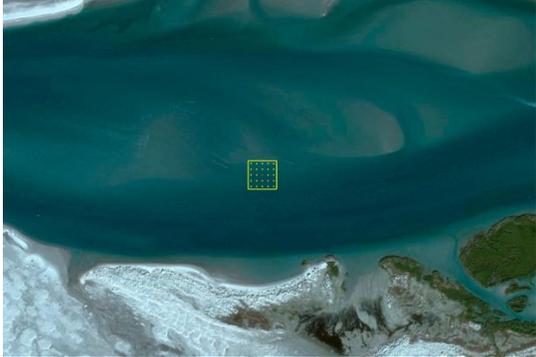
### 1) Interpretación visual de los elementos de cobertura y determinación de clases en la parcela

Con base en la imagen de alta resolución seleccionada para realizar la fotointerpretación de la parcela para el año 2016, se identificaron los elementos de cobertura y clases presentes en la parcela mediante los siguientes pasos:

- a) Se realizó un análisis detallado de la composición de elementos de cobertura y su configuración espacial en la parcela.
- b) Se determinó si la parcela presentó una o varias clases: se utilizó el criterio de que la cobertura de cada clase estuviera asociada a un polígono continuo  $\geq 1$  ha.
- c) Se identificó, de manera general, si la parcela presentó cobertura de Tierras Forestales o no, con base en los criterios establecidos para la caracterización de las categorías del IPCC (2006) y de la definición operativa de Tierras Forestales (bosque) adoptada para este NREF (**Cuadro 18**)

**Cuadro 18.** Criterios empleados para la caracterización de las categorías o clases de uso del suelo IPCC a nivel de parcela para el año 2016 empleando imágenes satelitales de alta y muy alta resolución

Categoría IPCC	Criterio de caracterización	Ejemplo de imagen satelital
Tierras Forestales (TF)	El uso de una parcela muestreada se determinó como "Tierras Forestales", cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución del año 2016 se observó una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura, o capaces de alcanzar dicha condición in situ, y con una extensión mínima de 1 ha.	
Tierras Agrícolas (TA)	El uso de una parcela muestreada se determinó como "Agricultura": <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Anual</u>, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución del año 2016 se identificaron patrones geométricos regulares asociados al trazado de parcelas y a la gestión de tierras, como surcos y melgas, presencia de infraestructura de riego, etc; o,</li> <li>• <u>Perenne</u>, cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución del año 2016 se identificaron patrones geométricos regulares asociados al trazado de parcelas y patrones de plantaciones sistemáticas.</li> </ul>	

Categoría IPCC	Criterio de caracterización	Ejemplo de imagen satelital
Praderas (PR)	El uso de una parcela muestreada se determinó como "Pradera", cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución del año 2016 se observaron patrones de cercos, presencias de abrevaderos para el ganado, infraestructura ganadera, gestión de pastos, evidencia de pastoreo y patrones temporales de ramoneo; además de que las parcelas interpretadas se localizaron dentro o cerca de áreas de producción pecuaria. En esta categoría IPCC se incluyen los tipos de vegetación que no cumplieron con la definición de TF, conforme el cuadro 5 de la sección 5.1.3.	
Asentamientos Humanos (AH)	El uso de una parcela muestreada se determinó como "Asentamientos Humanos", cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución del año 2016 se observó infraestructura rural/urbana y carretera.	
Humedales (HU)	El uso de una parcela muestreada se determinó como "Humedales", cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución del año 2016 se observaron ríos, lagos, presas, infraestructura de producción acuícola.	
Otras Tierras (OT)	El uso de una parcela muestreada se determinó como "Otras Tierras", cuando en las imágenes de muy alta y alta resolución del año 2016 se observaron suelos desnudos que no provienen de una perturbación, así como áreas desprovistas de vegetación que no entraron en la definición de degradación forestal absoluta. Ejemplos: jales de minas, áreas sin vegetación en las márgenes	

Categoría IPCC	Criterio de caracterización	Ejemplo de imagen satelital
	de los ríos, áreas cubiertas por ceniza y roca volcánica, etc.	

Para aquellas parcelas que no tuvieron imágenes satelitales de muy alta o alta resolución en el año 2016, se usó la imagen satelital de alta resolución más cercana al 2016 y se verificó que el patrón de cobertura evaluada con estas imágenes correspondiera a la observada con la imagen Sentinel 2016. En caso de no haber contado con una imagen de muy alta o alta resolución, la parcela se evaluó con base en las imágenes Sentinel 2 y Landsat 8.

## 2) Análisis del contexto espacial del paisaje en donde se ubica la parcela

Una vez que se identificó si la parcela presentó una cobertura de Tierras Forestales o no, se realizó un análisis general del contexto espacial del paisaje en donde se ubicó la parcela, con el objeto de considerar los elementos técnicos de apoyo a la correcta asignación de la clase INEGI. Los criterios analizados fueron los siguientes:

- d) Contexto geográfico y climático de la región en donde se ubicó la parcela, que permitiera identificar los tipos de clases INEGI que potencialmente pueden distribuirse en la región.
- e) Condición topográfica en donde se ubica la parcela, para obtener elementos del terreno que permitan identificar las características asociadas a las clases INEGI y su variación espacial en el paisaje. Los elementos considerados fueron la altitud, pendiente, exposición de ladera, entre otros. El análisis de las condiciones topográficas en algunos casos es fundamental para la identificación tipos de vegetación que presentan una distribución azonal que es influenciada principalmente por las características del terreno.
- f) Evidencias que sugirieran algún uso del suelo que implique la gestión o manejo de la tierra para actividades pecuarias o agrícolas, tanto en la parcela como en el paisaje donde se ubicó la parcela.
- g) Tipos de uso de suelo presentes en un contexto regional, de tal manera que se pudiera identificar el tipo de uso potencial y la dinámica espacial de las áreas que fueron sometidas a algún uso en el paisaje analizado.

## 3) Análisis del contexto temporal de la cobertura y uso del suelo de la parcela y el paisaje donde se ubica

Partiendo de la interpretación de los elementos de la cobertura de la tierra, así como un análisis del contexto espacial del paisaje en donde se ubicó la parcela, se realizó un análisis temporal, en una primera instancia, utilizando las imágenes de alta resolución disponibles, y posteriormente mediante el análisis de imágenes de mediana resolución. Los criterios analizados fueron los siguientes:

- h) Variación fenológica del dosel: se identificó si el tipo de vegetación se conformaba por especies perennifolias o existía pérdida de follaje; de esta manera se determinó, de manera general, la proporción de árboles que perdían el follaje en la comunidad vegetal.
- i) Variación en la densidad de cobertura del estrato bajo, herbáceo o arbustivo, en respuesta a las variaciones de estacionalidad climática, para evitar generar un sesgo en la interpretación.
- j) Variación en la apreciación de elementos de cobertura, generada por la variación en la posición del satélite y la hora de toma de las imágenes, evitando con ello generar sesgos en la interpretación.
- k) Contexto histórico de la comunidad vegetal, identificando si la condición observada en el año 2016 fue el resultado de una permanencia de la comunidad vegetal en el periodo

de análisis, o si existieron condiciones de perturbación o manejo del territorio que generaran una dinámica en la cobertura.

- l) Contexto histórico en las evidencias de uso y gestión de la tierra, identificando la temporalidad y el tipo de uso al que fue sometido la parcela.

#### **4) Revisión de la cartografía de uso de suelo y tipo de vegetación del INEGI 1:250 000, como insumo de apoyo para validar usos y comunidades vegetales potenciales en la región de análisis**

En caso de no existir insumos de fotointerpretación de alta resolución, la cartografía de usos de suelo y tipos de vegetación del INEGI, escala 1:250 000, fue un insumo importante en el proceso de asignación de las clases INEGI en la parcela, no sólo como herramienta de validación para ratificar o rectificar el criterio construido por el intérprete, si no que en algunos casos fue el principal apoyo para poder definir el tipo de clase. Los principales criterios utilizados en el uso de esta cartografía fueron los siguientes:

- m) Apoyo y validación de la distribución potencial de los tipos de vegetación presentes en la región del país en donde se ubica la parcela.
- n) Apoyo en la información del estado sucesional que presentan las comunidades vegetales, soportado por validación en campo del INEGI.
- o) Apoyo y validación del tipo de uso de suelo presente en el contexto espacial del paisaje en donde se ubicó la parcela, validado con datos de campo colectados por INEGI.

#### **5) Validación de información florística registrada en campo del Inventario Nacional Forestal de la CONAFOR**

Debido a que cada una de las parcelas analizadas coincidió con las coordenadas centrales de los conglomerados del INFyS, el equipo de interpretación se apoyó de la información florística registrada en las actividades de colecta en campo de los inventarios.

Esto es relevante debido a que, en la clasificación de tipos de vegetación de INEGI, uno de los principales criterios utilizados es la composición florística. Cuando se dificultó tener evidencia contundente para definir el tipo de vegetación con una imagen de satélite, la información del INFyS sirvió de apoyo al intérprete no sólo como una herramienta que validó su interpretación a partir de la información de campo, si no que en algunos casos se convirtió en la principal herramienta para poder definir con certeza una clase. Los criterios aplicados en la utilización de la información florística son los siguientes:

- p) Apoyo y validación de la clase de vegetación a partir de las especies registradas en el INFyS.
- q) Identificación de las especies con mayor abundancia que ayudaron a definir la clase INEGI, en aquellos casos en los que la parcela se ubicó en zonas de transición entre dos tipos de vegetación.
- r) Corroborar que la información de los registros florísticos del INFyS concordaran con las características observadas en la imagen de alta resolución, antes de considerar la información como elemento para su interpretación.

#### **6) Selección de la clase o clases INEGI en la parcela**

Independientemente de la experiencia de cada intérprete en su región de análisis asignada, cada uno de los expertos siguió los pasos y criterios arriba descritos, lo que permitió tener una ruta para revisar y validar sus argumentos y decisiones tomadas, para finalmente asignar la clase o clases INEGI a cada parcela de manera consistente.

Finalmente, para el conjunto de parcelas en las que se identificó una cobertura de Tierras Forestales en el paso l) anterior, se corroboró que la clase INEGI asignada correspondiera a los tipos de vegetación considerados por México como Tierras Forestales, mediante una tabla de correspondencias basada en el cuadro 5 de la sección 5.1.3.

### **III. Registro de la información fotointerpretada en Collect Earth**

Una vez identificada(s) la(s) clase(s) INEGI en el año 2016, se procedió a la captura y registro de la información fotointerpretada en el formulario de Collect Earth, que incluyó:

- i. las clases INEGI,
- ii. el porcentaje de cobertura de cada clase,
- iii. la confianza de fotointerpretación de cada clase,
- iv. el porcentaje de elementos de cobertura en cada clase y
- v. la imagen usada y año de captura.

### **IV. Asignación de una sola clase INEGI a cada parcela**

Se asignó una sola clase INEGI a cada parcela, con base en la dominancia (>50% de cobertura de una clase) entre la clase 1 y 2 (**Figura 19**). En el año 2016 se asignó una sola clase INEGI para homologar el criterio del alcance de fotointerpretación del año 2000; debido a que para el año 2000 no fue posible identificar más de una clase por las limitantes de las imágenes Landsat que fueron el principal insumo de interpretación.



**Figura 19.** Asignación de una sola clase INEGI a la parcela fotointerpretada con base en la dominancia (>50% de cobertura de una clase) entre clases identificadas. En el ejemplo: Tierras Forestales (clase dominante >50 %) vs Praderas (clase 2)

#### ***Criterios de fotointerpretación para el año inicial "2000"***

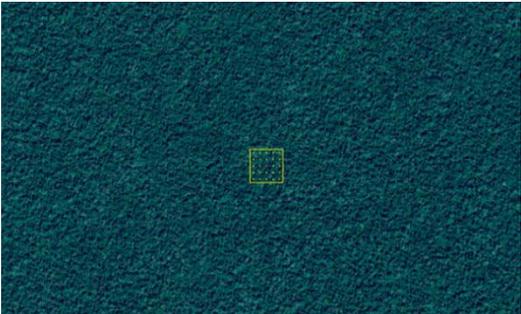
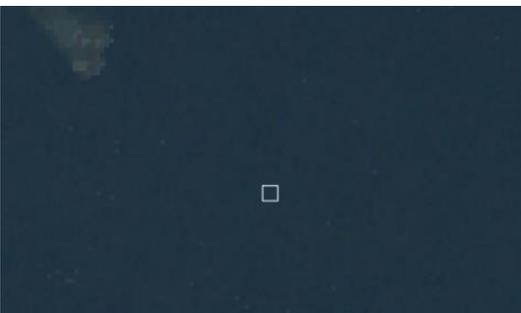
La determinación de las clases de uso de suelo y vegetación del INEGI en el año inicial (2000), para cada parcela analizada, se realizó conforme a los siguientes casos:

##### ***I. Cuando en la parcela NO ocurrió un cambio permanente de categoría IPCC***

En todas las parcelas en las que no ocurrió un cambio permanente de categoría IPCC (durante el periodo de análisis) y que no mostraron una pérdida total de la cobertura de dosel, se asignó la clase INEGI del año 2016 al año 2000. Este procedimiento se realizó mediante una comparación multitemporal de las imágenes Landsat desde el año 2016 hasta el año 2000. Esta comparación implicó un proceso de fotointerpretación en el que se emplearon varias combinaciones de bandas de las imágenes Landsat para clasificar los diferentes tipos de cubiertas forestales y de usos del suelo. Con este análisis se determinó que, si no hubo cambios significativos en el tono y color de los píxeles de las parcelas durante todo el periodo, la clase INEGI del año 2016 se mantuvo constante hasta el año 2000. Lo anterior implica una permanencia de la categoría IPCC asignada a la parcela.

El procedimiento específico de asignación de la clase INEGI para el año 2000, para las permanencias de las Tierras Forestales durante el periodo de análisis, se presentan en el Cuadro 19. Los criterios específicos correspondientes a las permanencias de las 5 categorías IPCC restantes se detallan en el Anexo Metodológico.

**Cuadro 19.** Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para las permanencias de tierras forestales entre 2000-2016

Transición IPCC	Criterios específicos para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para las permanencias de tierras forestales entre el año 2000 y 2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
<p>TF-TF</p> <p>(Sin pérdida total de la cobertura de dosel)</p>	<p>Se consideró como permanencias de Tierras Forestales (sin pérdida total de la cobertura de dosel) al subconjunto de parcelas etiquetadas con el uso de “Tierras Forestales” en el año 2016 (mediante una interpretación visual de imágenes de alta o muy alta resolución) y que no mostraron cambios significativos en el tono y color (que indicaran una pérdida total de la cobertura de la vegetación leñosa y/o un cambio de uso del suelo) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela al realizar la comparación multitemporal de las imágenes satelitales de mediana resolución (principalmente Landsat) desde el año 2016 hasta el año 2000. Este proceso de identificación de permanencias de TF, así como la asignación de la clase INEGI en el año 2000, se describe con más detalle a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se identificó la clase o tipo de vegetación INEGI considerada dentro de la categoría IPCC de TF en una parcela dada en el año 2016, a través de la fotointerpretación de la imagen de alta o muy alta resolución (<b>Figura A</b>) de acuerdo con los criterios especificados en la sección de <i>Criterios de fotointerpretación para el año base “2016”</i>.</li> <li>2. Se caracterizaron los criterios visuales de tono y color de los píxeles de la imagen de mediana resolución Landsat del año 2016 que se ubicaron dentro de la misma parcela (<b>Figura B</b>).</li> <li>3. Se infirió que los criterios visuales caracterizados en la imagen Landsat 2016 se corresponden con la clase INEGI identificada en el paso 1 a través de la imagen de alta o muy alta resolución.</li> <li>4. Se determinó que el uso de la parcela permaneció como “Tierras Forestales” en todo el periodo 2000-2016 en el caso en que, a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8, no se identificaron cambios significativos en el tono y color (que indicaran una pérdida total de la cobertura de la vegetación leñosa y/o un cambio de uso del suelo) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela analizada. Específicamente, se siguieron los siguientes sub-pasos:             <ol style="list-style-type: none"> <li>(i). Se comparó el tono y color de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (2016 vs 2015, 2015 vs 2014, y así sucesivamente hasta 2001 vs 2000), asegurándose que no hubiese un cambio significativo en estos criterios en más del 50% del número de píxeles. Para el proceso de interpretación se emplearon varias combinaciones de bandas para clasificar los diferentes tipos de cubiertas forestales y de usos del suelo.</li> <li>(ii). También se analizaron los criterios de textura y estructura de las imágenes de años consecutivos, tanto de los píxeles al interior de la parcela como de los píxeles del contexto de esta, con la finalidad de asegurar una interpretación correcta de la permanencia al nivel de categoría IPCC. Se puso énfasis en diferenciar los tipos de texturas (desde texturas gruesas como la de los bosques y selvas, hasta las texturas finas como las de áreas agrícolas y praderas). La estructura se relacionó con los diferentes niveles de arreglo de las coberturas terrestres observadas, reconociendo ciertos patrones espaciales propios de áreas urbanas, zonas agrícolas, zonas forestales, cuerpos de agua, etc.</li> </ol> </li> <li>5. Considerando los pasos 3 y 4 anteriores, se asignó la misma clase INEGI del año 2016 al año 2000 para cada parcela que permaneció como TF durante todo el periodo de análisis (<b>Figura C</b>).</li> </ol>	<div style="text-align: center;">  <p><b>Figura A.</b> Visualización de uso de TF en una parcela empleando una imagen de alta resolución del año 2016</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>Figura B.</b> Visualización de uso de TF en una parcela empleando una imagen de mediana resolución Landsat del año 2016</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>Figura C.</b> Visualización de uso de TF en una parcela empleando una imagen de mediana resolución Landsat del año 2000</p> </div>

Un caso particular de permanencias de Tierras Forestales es la Degradación Forestal Absoluta (DFA), que es un proceso que México ha observado en todo el periodo de análisis 2000-2016, a través del análisis de fotointerpretación y con los insumos disponibles utilizados para construir el NREF. Este proceso se refiere a aquellas parcelas cuyo uso del suelo del año 2000 fue determinado como “Tierras Forestales” y en el año 2016 también fue determinado como “Tierras Forestales” pero con una etiqueta de “Tierra Forestal degradada” (TFd o FLd), la cual indica que en dichas parcelas se observó DFA (único tipo de degradación forestal cuantificado en el NREF). Estas parcelas etiquetadas con DFA (TFd o FLd) perdieron toda su cobertura de vegetación leñosa a partir del momento en que se observó la perturbación, no mostraron evidencia de recuperación de la cobertura de vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque al final del periodo de análisis y tampoco mostraron evidencia de un cambio permanente de uso del suelo durante el periodo de análisis 2000-2016 (ver sección 5.3.2.).

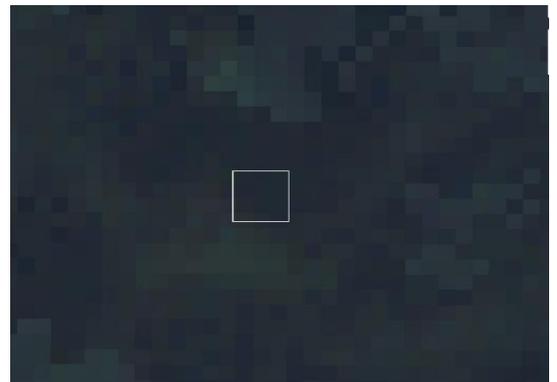
Los procedimientos específicos para la identificación de la DFA (etiqueta TFd o FLd), para la asignación de la clase INEGI en el año 2000 y para la determinación del año específico de pérdida de la cobertura, se presentan en el **Cuadro 20**.

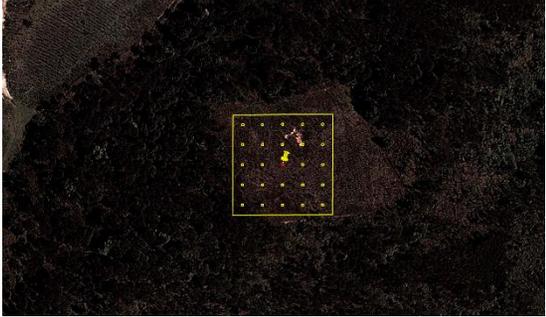
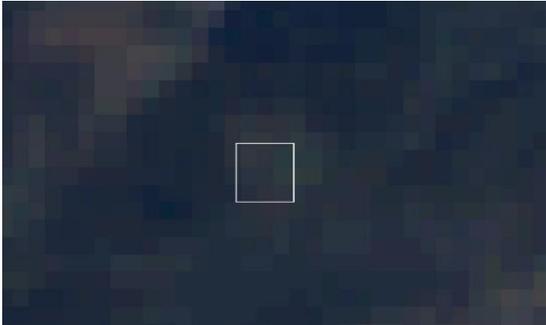
El tipo de recuperación observada en las parcelas etiquetadas con DFA corresponde, en la mayoría de los casos, a una recuperación de la vegetación a una fase arbustiva (debido a las bajas tasas de recuperación que se presentan en algunos ecosistemas del país y/o a la severidad de la perturbación). Estrictamente hablando, no es posible asegurar o refutar que después del periodo de análisis existirá recuperación por encima de los umbrales de la definición de bosque en las parcelas etiquetadas con DFA o que dichas parcelas sufrirán un cambio permanente de uso del suelo. La definición operativa de DFA sólo es válida y consistente dentro del periodo de análisis (además, es consistente con la definición de degradación forestal de la LGDFS) y para México resulta relevante diferenciar este proceso con la finalidad de cuantificarlo y estudiar a profundidad sus causas para, en última instancia, diseñar políticas públicas apropiadas para hacer frente a este tipo de perturbaciones.

Para garantizar que no ocurriera una sobre o subestimación en las emisiones calculadas para el NREF a causa de una incorrecta aplicación de la definición operativa de DFA, se aseguró y se verificó que las parcelas etiquetadas como TF con DFA no cambiaran de uso del suelo y tampoco recuperaran su cobertura de vegetación leñosa por arriba de los umbrales de bosque al final del periodo de análisis (2016).

La aplicación de los supuestos y definiciones de manera consistente a lo largo del periodo de análisis garantiza que las parcelas identificadas con DFA en el periodo 2000-2016 se diferencien espacial y temporalmente de aquellas parcelas identificadas con deforestación o con la transición de TNF a TF. Además, esta aplicación de la definición de DFA de manera consistente a lo largo de todo el periodo de análisis, garantiza evitar una doble contabilidad dentro de dicho periodo. También se subraya que para garantizar la evitación de una posible doble contabilidad después del periodo de análisis, se debe asegurar la aplicación consistente de la definición operativa durante todo el nuevo periodo, es decir durante la suma del periodo de análisis más el periodo posterior (por ejemplo: 2000-2016 + 2017-2020 = 2000-2020).

**Cuadro 20.** Criterios específicos de fotointerpretación para la identificación de la DFA (etiqueta TFd o FLd) como caso particular de las permanencias de tierras forestales entre 2000-2016

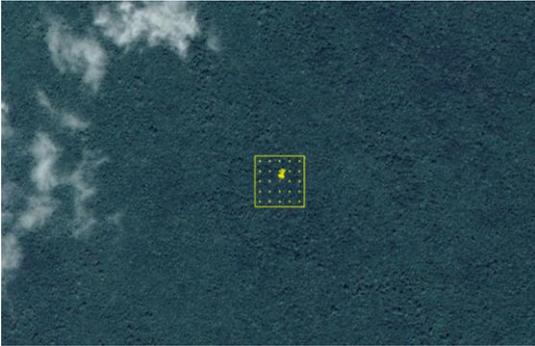
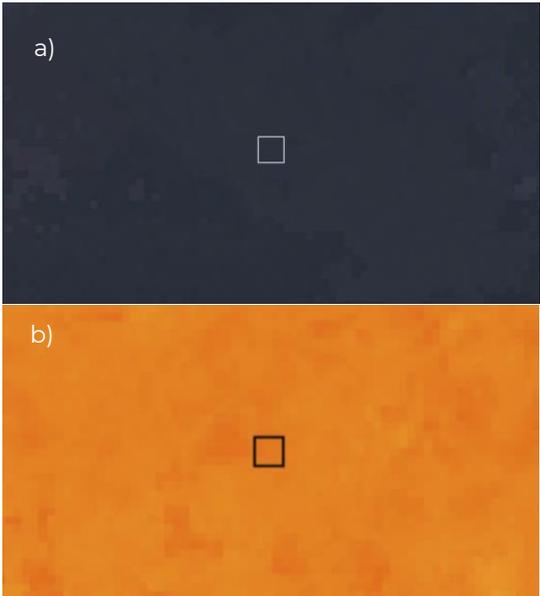
Transición IPCC	Criterios específicos para la identificación de la DFA (etiqueta TFd o FLd) como caso particular de las permanencias de tierras forestales entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
<p>TF-TF</p> <p>Caso particular: DFA (TF-TFd)</p>	<p>Los procedimientos específicos para la identificación de la DFA (etiqueta TFd o FLd) en una parcela dada se describen enseguida:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Primero, sobre la imagen de alta o muy alta resolución del año 2016, se identificó que la parcela sufrió un proceso de DFA, verificando los siguientes criterios:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Que en la imagen de alta o muy alta resolución del 2016 no se observó una cobertura de vegetación leñosa de acuerdo a la definición de bosque (sección 5.1.3.), pero la parcela fue clasificada como TF por las siguientes razones: (i) no existe evidencia de un cambio permanente de uso del suelo, por lo que no es posible asignar a la parcela una categoría IPCC distinta a TF (praderas o tierras agrícolas, por ejemplo), (ii) la parcela proviene de una categoría de TF de acuerdo con los criterios del <b>Cuadro 18</b> y (iii) con frecuencia se observaron, en la imagen de alta o muy alta resolución de 2016, elementos arbustivos dentro de las parcelas analizadas que pueden considerarse evidencia de recuperación en una etapa sucesional inicial pero que no superan los umbrales mínimos de la definición de bosque (<b>Figura D</b>).</li> <li>b) Que en la parcela en la cual se verificó el inciso a) anterior, los elementos de tono, color, textura y estructura de los píxeles contenidos en ella (al ser fotointerpretada con una imagen de mediana resolución Landsat 7 u 8) se correspondieron con los de una tierra forestal en fases tempranas de recuperación y no con los de un bosque adulto sin perturbación (<b>Figura E</b>). Esta diferencia se visualiza mejor al realizar comparaciones entre las combinaciones de bandas de cada imagen analizada.</li> <li>c) En el caso en que la pérdida completa de la cobertura de vegetación leñosa de la parcela analizada se haya debido a un cambio de uso del suelo, se determinó que dicho cambio (a praderas o tierras agrícolas, por ejemplo) fue temporal. El cambio de uso del suelo no se clasificó como permanente ya que después de la transición temporal TF-TNF, se observaron evidencias de recuperación en fases sucesionales iniciales (TNF-TF) en las imágenes de alta o muy alta resolución del año 2016 (en ocasiones en estas imágenes se pudo constatar que ya no hubo evidencia de la gestión de la tierra en usos no forestales) y en las imágenes Landsat 5, 7 y 8. Los criterios para identificar la recuperación (elementos arbustivos) en las imágenes Landsat se basaron en el análisis comparativo del tono, color, textura y estructura de los píxeles de las imágenes de años consecutivos.</li> <li>d) Que la parcela haya sido clasificada como TF a partir del año anterior a la perturbación y en retrospectiva hasta el año 2000, conforme a un procedimiento similar al descrito en el <b>Cuadro 19</b>.</li> </ol> </li> <li>2. Para determinar la pérdida de la cobertura de vegetación leñosa de la parcela con DFA, se realizó una comparación visual de las series multitemporales de las</li> </ol>	 <p><b>Figura D.</b> Visualización de una Tierra Forestal con Degradación Forestal Absoluta (DFA) en una parcela de muestreo, empleando una imagen de muy alta resolución del año 2016</p>  <p><b>Figura E.</b> Visualización de una Tierra Forestal con Degradación Forestal Absoluta (DFA) en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución del año 2016</p>

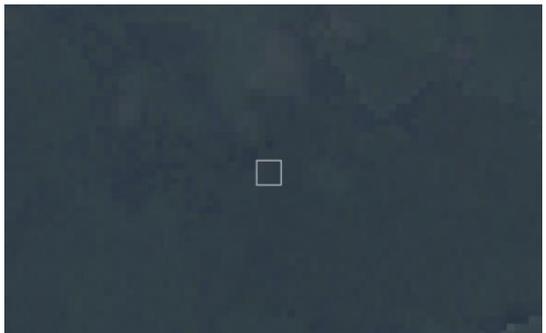
Transición IPCC	Criterios específicos para la identificación de la DFA (etiqueta TFd o FLd) como caso particular de las permanencias de tierras forestales entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
	<p>imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8, por medio de la cual se identificaron cambios significativos en el tono y color (que indicaron una pérdida total de la cobertura de la vegetación leñosa y/o un cambio de uso del suelo) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela analizada. Para identificar tanto la perturbación como el año en que ocurrió, se siguieron los siguientes sub-pasos específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(i). Se comparó el tono y color de los píxeles de las imágenes de años consecutivos (2016 vs 2015, 2015 vs 2014, y así sucesivamente hasta 2001 vs 2000), y se identificó un cambio significativo en estos criterios en más del 50% del número de píxeles. Para el proceso de interpretación se emplearon varias combinaciones de bandas para clasificar los diferentes tipos de cubiertas forestales y de usos del suelo.</li> <li>(ii). También se analizaron los criterios de textura y estructura de las imágenes de años consecutivos, tanto de los píxeles al interior de la parcela como de los píxeles del contexto de esta, con la finalidad de asegurar una interpretación correcta de la perturbación o pérdida de la cobertura de vegetación leñosa. Se puso énfasis en diferenciar los tipos de texturas (desde texturas gruesas como la de los bosques y selvas, hasta las texturas finas como las de áreas agrícolas y praderas). La estructura se relacionó con los diferentes niveles de arreglo de las coberturas terrestres observadas, reconociendo ciertos patrones espaciales propios de áreas urbanas, zonas agrícolas, zonas forestales, cuerpos de agua, etc.</li> </ol> <p>3. Para ejemplificar este proceso, en la <b>Figura F</b> se muestra una imagen Google Earth 2009 en la que se observa un uso temporal del suelo de “Praderas” en la parcela muestreada. En la <b>Figura G</b> se muestra una imagen Landsat del año 2002 en la que se identifica el mismo uso del suelo correspondiente a “Praderas”. En la <b>Figura H</b> se muestra una imagen Landsat del año 2000 en la que se observa que el uso del suelo era de “Tierras Forestales” en la misma parcela muestreada. Mediante el análisis multitemporal de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, y 8, se determinó lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Entre el año 2000 y 2001 se identificó una permanencia de “Tierras Forestales” ya que <u>no</u> se observó un cambio en el tono, color, textura y estructura en más del 50% de los píxeles de las imágenes de mediana resolución que representan la superficie de la parcela.</li> <li>II. El año específico de pérdida de cobertura, con cambio de uso de suelo temporal a Pradera, fue 2002 ya que de 2001 a 2002 <u>sí</u> se observó un cambio en el tono, color, textura y estructura en más del 50% de los píxeles de las imágenes de mediana resolución que representan la superficie de la parcela.</li> <li>III. El uso del suelo temporal de “Praderas” fue determinado con base en la interpretación de la imagen de muy alta resolución del año 2009 (<b>Figura F</b>) y mediante un análisis comparativo del tono, color, textura y estructura de</li> </ol>	 <p><b>Figura F.</b> Visualización de un uso de suelo temporal de Pradera en una parcela de muestreo, empleando una imagen de Google Earth de muy alta resolución del año 2009.</p>  <p><b>Figura G.</b> Visualización de un uso de suelo temporal de Pradera en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat del año 2002.</p>  <p><b>Figura H.</b> Visualización de un uso de suelo de “Tierras Forestales” en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana</p>

Transición IPCC	Criterios específicos para la identificación de la DFA (etiqueta TFd o FLd) como caso particular de las permanencias de tierras forestales entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
	<p>los píxeles de las imágenes de mediana resolución (Landsat 5, 7 y 8) en dos años consecutivos (2009 vs 2008, 2008 vs 2007, y así sucesivamente hasta llegar a 2003 vs 2002). De esta manera, analizando las imágenes Landsat, se determinó que el uso temporal de Pradera se mantuvo de 2002 a 2009.</p> <p>IV. A partir de la interpretación de la imagen de muy alta resolución de 2016 (ver inciso a) del numeral 1) se infirió que durante el periodo 2009-2016 hubo un proceso de recuperación de la vegetación a una fase sucesional arbustiva y en 2016 el uso de la parcela se determinó como de Tierras Forestales, aun cuando la cubierta de vegetación leñosa no está por encima de los umbrales de la definición de bosque.</p> <p>V. Finalmente, debido a que la parcela tuvo un uso de Tierras Forestales tanto en el año 2000 como en el año 2016, la perturbación ocurrida en el año 2002 fue catalogada como DFA y por tanto se asignó la etiqueta de TFd o FLd a dicha parcela desde 2002 hasta 2016.</p> <p>4. Es importante mencionar que las pérdidas de la cobertura arbórea debidas a una práctica silvicultural (como una corta de regeneración de “matarrasa o clearcut” o de “árboles padre”, por ejemplo) en terrenos bajo manejo forestal maderable fueron excluidas del concepto de DFA. Se siguieron los siguientes criterios para identificar que una pérdida completa de la cobertura arbórea se originó por una práctica silvicultural:</p> <p>a) Que en las imágenes de alta o muy alta resolución se identificaran elementos de gestión de la tierra propios del aprovechamiento forestal (acomodo de material residual en curvas de nivel, obras de conservación de suelo y agua, distribución típica de “árboles padre”, cercados, etc.)</p> <p>b) Que la parcela se ubicara dentro de regiones o estados con una tradición histórica de aprovechamiento maderable y que estuviera cerca de o conectada con infraestructura de caminos forestales (presencia de brechas de saca, por ejemplo).</p> <p>c) Que la parcela se ubicara dentro de los polígonos de los predios bajo manejo forestal maderable apoyados por la CONAFOR (la UTEMRV cuenta con un archivo histórico de <i>shapefiles</i> de estos predios de 2003 a 2018)</p>	<p>resolución Landsat del año 2000.</p>

Otro caso particular de permanencias de Tierras Forestales se refiere a aquellas parcelas que en el año 2000 tenían un uso de TF y en el año 2016 también tuvieron un uso de TF, pero en algún año del periodo de análisis mostraron una pérdida total de la cobertura de dosel y posteriormente mostraron una recuperación hasta ser etiquetadas como TF en 2016. Los procedimientos específicos para la identificación de este caso particular de permanencias de TF se describen en el **Cuadro 21**.

**Cuadro 21.** Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para la transición TF-TNF-TF entre 2000-2016

Transición IPCC	Criterios específicos para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para la transición TF-TNF-TF entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
<p>TF-TNF-TF (Pérdida de cobertura y recuperación)</p>	<p>Las parcelas que perdieron su cobertura de dosel y luego se recuperaron correspondieron a aquellas cuyo uso del suelo en los años 2000 y 2016 fue determinado como “Tierras Forestales”, pero que en algún momento del periodo perdieron toda su cobertura de vegetación leñosa (normalmente a causa de un cambio temporal de uso del suelo) y luego de dicha perturbación mostraron una recuperación de la vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque. Este proceso de identificación de la transición TF-TNF-TF, así como la asignación de la clase INEGI en el año 2000, se describe con más detalle a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se identificó la categoría IPCC de Tierras Forestales en una parcela dada en el año 2016, a través de la fotointerpretación de la imagen de alta o muy alta resolución (<b>Figura I</b>) de acuerdo con los criterios especificados en el <b>Cuadro 18</b>.</li> <li>2. Se caracterizaron los criterios visuales de tono y color de los píxeles de la imagen de mediana resolución Landsat del año 2016 que se ubicaron dentro de la misma parcela (<b>Figura J</b>), previamente etiquetada con la categoría IPCC de TF.</li> <li>3. Se infirió que los criterios visuales caracterizados en la imagen Landsat 2016 se corresponden con la categoría IPCC de TF identificada en el paso 1 a través de la imagen de alta o muy alta resolución.</li> <li>4. A través de un análisis multitemporal de las imágenes de mediana resolución en el periodo 2000-2016, se identificó la pérdida de cobertura forestal y su correspondiente cambio temporal de uso del suelo. Un cambio temporal de TF a TNF fue identificado cuando, a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes Landsat 5, 7 y 8, se identificaron cambios significativos en el tono y color (que indicaran una pérdida total de la cobertura de la vegetación leñosa y/o un cambio de uso del suelo) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela analizada. Este proceso de identificación de la pérdida de cobertura forestal se describe enseguida a través de un ejemplo.</li> <li>5. Para ejemplificar este proceso, en la <b>Figura K</b> se muestra una imagen Landsat del año 2005 en la que se observa que el uso del suelo de la parcela muestreada era de “Praderas”. Por el contrario, en la <b>Figura L</b> se muestra una imagen Landsat del año 2000 en la que se observa que el uso del suelo era de “Tierras Forestales” en la misma parcela muestreada. Mediante el análisis multitemporal de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8, se</li> </ol>	 <p><b>Figura I.</b> Visualización de un uso del suelo de Tierras Forestales en una parcela de muestreo, empleando una imagen de muy alta resolución del año 2016</p>  <p><b>Figura J.</b> Visualización de un uso del suelo de Tierras Forestales en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat 8 del año 2016 en a) RGB y b) falso color</p>

Transición IPCC	Criterios específicos para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para la transición TF-TNF-TF entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
	<p>determinó lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(i) La etiqueta de “Tierras Forestales” permaneció constante desde el año 2000 hasta 2004, ya que <u>no</u> se observó un cambio en el tono, color, textura y estructura en más del 50% de los píxeles de la imagen Landsat que representan la superficie de la parcela.</li> <li>(ii) El año específico de cambio fue 2005, ya que <u>sí</u> se observó un cambio en el tono, color, textura y estructura en más del 50% de los píxeles de la imagen Landsat 2004 en comparación con la de 2005.</li> <li>(iii) Entre el año 2005 y 2016 se observó una transición de “Praderas” a “Tierras Forestales” (<b>Figura K y J</b>). El año específico de la recuperación se asignó a 2016 por las siguientes razones: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) En la imagen Landsat de 2016, se identificaron cambios significativos en el tono y color (que indicaron una recuperación de la cobertura forestal) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela analizada.</li> <li>b) Lo anterior se corroboró con evidencias de recuperación de la vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque, halladas con la interpretación de la imagen de muy alta resolución de 2016.</li> <li>c) Debido a que no se dispone de imágenes de alta o muy alta resolución para todo el periodo de análisis, resultó altamente complejo determinar (sobre las imágenes Landsat) el año específico en que la recuperación de la vegetación leñosa superó los umbrales de la definición de bosque. En otras palabras, no fue posible determinar la evolución paulatina de la recuperación sobre las imágenes de mediana resolución. En lugar de ello, se observó el resultado final de la recuperación en el año 2016.</li> </ul> </li> </ul> <p>6. El tipo de vegetación INEGI correspondiente a la etiqueta de “Tierras Forestales” del año 2000 a 2004 y del año 2016, así como la clase INEGI correspondiente a “Praderas” en el año 2005, fueron identificadas siguiendo un procedimiento análogo al descrito en la sección de <b>criterios de fotointerpretación para el año base “2016”</b>.</p>	 <p><b>Figura K.</b> Visualización de un uso del suelo de Praderas en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat del año 2005.</p>  <p><b>Figura L.</b> Visualización de un uso del suelo de Tierras Forestales en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat del año 2000.</p>

## **II. Cuando en la parcela Sí ocurrió un cambio permanente de categoría IPCC**

Los cambios permanentes de categoría IPCC (durante el periodo de análisis) que son relevantes para el presente NREF son la deforestación (TF-TNF) y la recuperación (TNF-TF). Es decir, un cambio permanente de “Praderas” a “Tierras Agrícolas” no tiene ningún efecto sobre las estimaciones de las emisiones de las actividades REDD+ incluidas en el NREF. A continuación, se brinda una definición operativa de la deforestación y de la recuperación, desde el punto de vista de la fotointerpretación de las parcelas de muestreo:

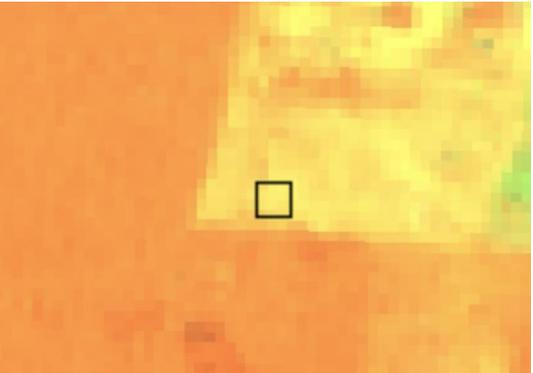
Se consideró como **deforestación** al subconjunto de parcelas que cumplieron todos los criterios siguientes:

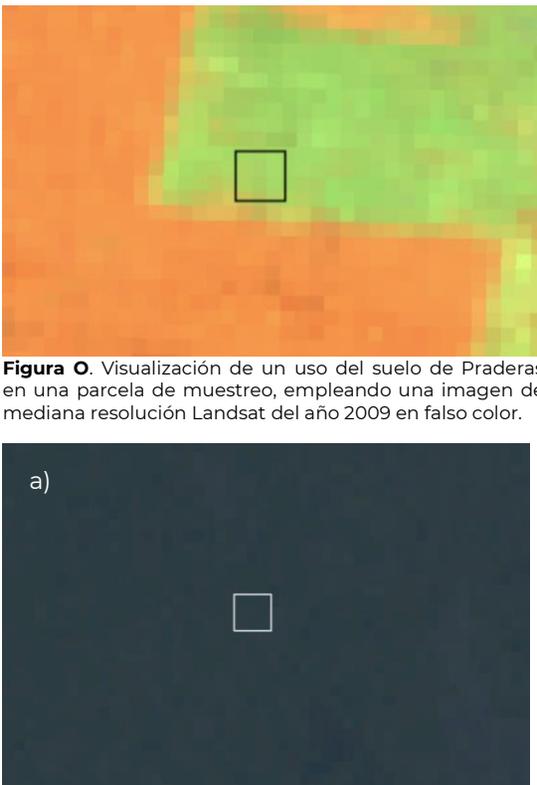
- 1) Fueron etiquetadas con algún uso de “Tierras No Forestales” (Praderas, Tierras Agrícolas, Asentamientos Humanos, Humedales u Otras Tierras) en el año 2016
- 2) En el año 2000 tuvieron un uso del suelo de “Tierras Forestales”
- 3) Durante el periodo 2000-2016 mostraron cambio de uso del suelo.

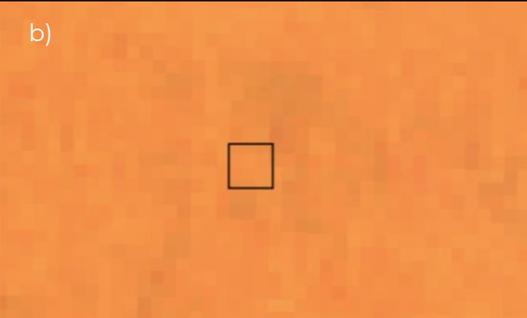
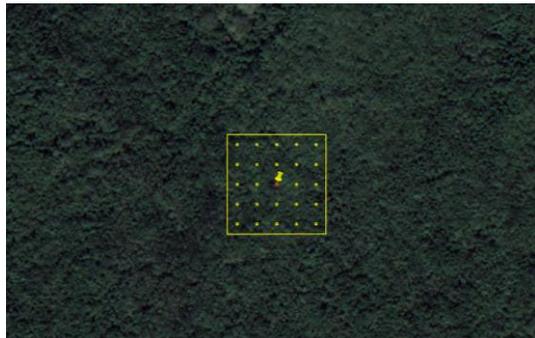
Se consideró como **recuperación** (el término indica la recuperación de la cobertura de vegetación leñosa a partir de la ausencia de dicha cobertura y la recuperación es producto de un proceso de reforestación o de regeneración natural) al subconjunto de parcelas etiquetadas con algún uso de “Tierras No Forestales” (Praderas, Tierras Agrícolas, Asentamientos Humanos, Humedales u Otras Tierras) en el año 2000 y con un uso del suelo de “Tierras Forestales” en el año 2016.

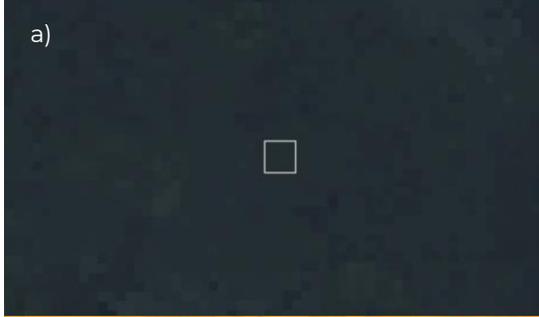
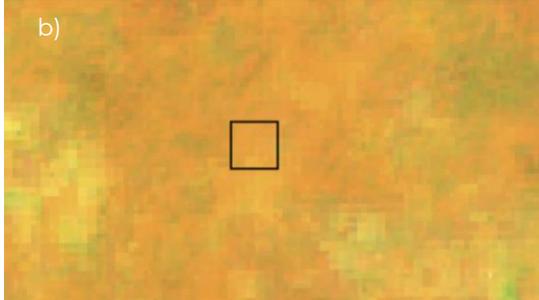
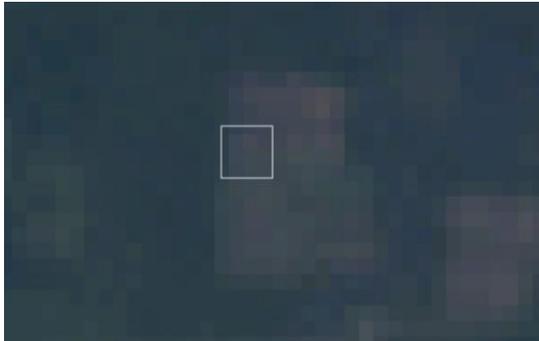
Los procedimientos y criterios específicos de fotointerpretación para la identificación de la deforestación y la recuperación se describen en el **Cuadro 22**.

**Cuadro 22.** Criterios específicos empleados para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para los cambios o conversiones de uso del suelo (deforestación y reforestación/recuperación) entre 2000-2016

Transición IPCC (conversiones de uso de la tierra)	Criterios específicos para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para los cambios de uso del suelo (deforestación y reforestación/recuperación) entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
<p>TF-TNF (Deforestación)</p>	<p>Se consideró como deforestación al subconjunto de parcelas etiquetadas con algún uso de "Tierras No Forestales" (Praderas, Tierras Agrícolas, Asentamientos Humanos, Humedales u Otras Tierras) en el año 2016 (mediante una interpretación visual de imágenes de alta o muy alta resolución), que en el año 2000 tuvieron un uso del suelo de "Tierras Forestales" y que durante el periodo 2000-2016 mostraron cambio de uso del suelo. Este proceso de identificación de la deforestación, así como la asignación de la clase INEGI en el año 2000, se describe con más detalle a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se identificó la categoría IPCC de TNF (Praderas, Tierras Agrícolas, Asentamientos Humanos, Humedales u Otras Tierras) en una parcela dada en el año 2016, a través de la fotointerpretación de la imagen de alta o muy alta resolución (<b>Figura M</b>) de acuerdo con los criterios especificados en el <b>Cuadro 18</b>. En la <b>Figura M</b> se observa un uso del suelo de Tierras Agrícolas en la parcela analizada, el cual fue identificado por la ausencia de cobertura arbórea, los patrones geométricos asociados al trazado de las parcelas y los elementos de gestión de la tierra, como los surcos de siembra.</li> <li>2. Se caracterizaron los criterios visuales de tono y color de los píxeles de la imagen de mediana resolución Landsat del año 2016 que se ubicaron dentro de la misma parcela (<b>Figura N</b>), previamente etiquetada con la categoría IPCC de Praderas en el caso del ejemplo.</li> <li>3. Se infirió que los criterios visuales caracterizados en la imagen Landsat 2016 se corresponden con la categoría IPCC de Praderas identificada en el paso 1 a través de la imagen de alta o muy alta resolución.</li> <li>4. Se realizó la fotointerpretación de la imagen de mediana resolución Landsat del año 2000 y se determinó que el uso correspondía al de Tierras Forestales. Por tanto, se tuvo la necesidad de identificar el cambio de uso del suelo de la parcela, a través de un análisis multitemporal de las imágenes de mediana resolución en el periodo 2000-2016. Un cambio de TF a TNF fue identificado cuando, a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes Landsat 5, 7 y 8, se identificaron cambios significativos en el tono y color (que indicaran una pérdida total de la cobertura de la vegetación leñosa y/o un cambio de uso del suelo) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela analizada.</li> </ol>	 <p><b>Figura M.</b> Visualización de un uso del suelo de Praderas en una parcela de muestreo, empleando una imagen de muy alta resolución del año 2016</p>  <p><b>Figura N.</b> Visualización de un uso del suelo de Praderas en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat 8 del año 2016 en falso color.</p>

Transición IPCC (conversiones de uso de la tierra)	Criterios específicos para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para los cambios de uso del suelo (deforestación y reforestación/recuperación) entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
	<p>5. Para ejemplificar este proceso, en la <b>Figura O</b> se muestra una imagen Landsat del año 2009 en la que se observa que el uso del suelo de la parcela muestreada era de "Praderas". Por el contrario, en la <b>Figura P</b> se muestra una imagen Landsat del año 2000 en la que se observa que el uso del suelo era de "Tierras Forestales" en la misma parcela muestreada. Mediante el análisis multitemporal de las imágenes de mediana resolución Landsat 5, 7 y 8, se determinó lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(i) La etiqueta de "Tierras Forestales" permaneció constante desde el año 2000 hasta 2008, ya que <u>no</u> se observó un cambio en el tono, color, textura y estructura en más del 50% de los píxeles de la imagen Landsat que representan la superficie de la parcela.</li> <li>(ii) El año específico de cambio fue 2009, ya que <u>sí</u> se observó un cambio en el tono, color, textura y estructura en más del 50% de los píxeles de la imagen Landsat 2008 en comparación con la de 2009.</li> <li>(iii) Entre el año 2009 y 2016 la etiqueta de "Praderas" permaneció constante, ya que <u>no</u> se observó un cambio en el tono, color, textura y estructura en más del 50% de los píxeles de las imágenes Landsat que representan la superficie de la parcela.</li> </ul> <p>6. El tipo de vegetación INEGI correspondiente a la etiqueta de "Tierras Forestales" del año 2000 a 2008, así como la clase INEGI correspondiente a "Praderas" del año 2009 a 2016, fueron identificadas siguiendo un procedimiento análogo al descrito en la subsección <i>criterios de fotointerpretación para el año base "2016"</i>.</p>	 <p><b>Figura O.</b> Visualización de un uso del suelo de Praderas en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat del año 2009 en falso color.</p> <p>a)</p>

Transición IPCC (conversiones de uso de la tierra)	Criterios específicos para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para los cambios de uso del suelo (deforestación y reforestación/recuperación) entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
		 <p data-bbox="1392 639 1936 732"><b>Figura P.</b> Visualización de un uso del suelo de Tierras Forestales en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat del año 2000 en a) RGB y b) falso color.</p>
TNF-TF (Reforestación/ Recuperación)	<p data-bbox="359 760 1365 1019">Se consideró como recuperación (el término indica la recuperación de la cobertura de vegetación leñosa a partir de la ausencia de dicha cobertura y dicha recuperación es producto de un proceso de reforestación o de regeneración natural) al subconjunto de parcelas etiquetadas con algún uso de "Tierras No Forestales" (Praderas, Tierras Agrícolas, Asentamientos Humanos, Humedales u Otras Tierras) en el año 2000 y con un uso del suelo de "Tierras Forestales" en el año 2016, lo que implicó la observación de evidencias de una recuperación de la cobertura de vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque, mediante fotointerpretación de imágenes de mediana, alta y muy alta resolución. Este proceso de identificación de la recuperación, así como la asignación de la clase INEGI en el año 2000, se describe con más detalle a continuación:</p> <ol data-bbox="407 1045 1365 1403" style="list-style-type: none"> <li>1. Se identificó la categoría IPCC de Tierras Forestales en una parcela dada en el año 2016, a través de la fotointerpretación de la imagen de alta o muy alta resolución (<b>Figura Q</b>) de acuerdo con los criterios especificados en el <b>Cuadro 18</b>.</li> <li>2. Se caracterizaron los criterios visuales de tono y color de los píxeles de la imagen de mediana resolución Landsat del año 2016 que se ubicaron dentro de la misma parcela (<b>Figura R</b>), previamente etiquetada con la categoría IPCC de TF.</li> <li>3. Se infirió que los criterios visuales caracterizados en la imagen Landsat 2016 se corresponden con la categoría IPCC de TF identificada en el paso 1 a través de la imagen de alta o muy alta resolución.</li> <li>4. Se realizó la fotointerpretación de la imagen de mediana resolución Landsat del año 2000 y se determinó que el uso correspondía al de Tierras No Forestales. Lo anterior implicó que la parcela experimentó una transición de TNF a TF o, lo que es lo mismo, una recuperación de su cobertura de vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque (constatada en la imagen de alta o muy alta resolución de</li> </ol>	 <p data-bbox="1392 1081 1936 1154"><b>Figura Q.</b> Visualización de un uso del suelo de Tierras Forestales en una parcela de muestreo, empleando una imagen de muy alta resolución del año 2016</p>

Transición IPCC (conversiones de uso de la tierra)	Criterios específicos para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para los cambios de uso del suelo (deforestación y reforestación/recuperación) entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
	<p>2016). Este proceso implicó un cambio de TNF a TF durante todo el periodo de análisis, el cual fue corroborado a través de la comparación visual de las imágenes Landsat de 2000 y 2016. Como resultado de esta comparación, se identificaron cambios significativos en el tono y color (que indicaron una recuperación de la cobertura forestal) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela analizada.</p> <p>5. Para ejemplificar este proceso, en la <b>Figura R</b> se muestra la imagen Landsat del año 2016 en la que se observa que el uso del suelo de la parcela muestreada es de "Tierras Forestales". Por el contrario, en la <b>Figura S</b> se muestra una imagen Landsat del año 2000 en la que se observa que el uso del suelo era de "Praderas" en la misma parcela muestreada. Mediante el análisis visual de las imágenes de mediana resolución Landsat de 2000 y 2016, se determinó lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(i) La fotointerpretación de la imagen Landsat 8 del año 2000 indicó que la parcela tenía un uso de "Praderas", ya que los colores y tonos café y grisáceos de los píxeles contenidos en la parcela, además de la estructura de estos y la de los píxeles de su contexto, se corresponden con el uso de Praderas.</li> <li>(ii) El año específico de la recuperación se asignó a 2016 por las siguientes razones: <ul style="list-style-type: none"> <li>d) En la imagen Landsat de 2016, se identificaron cambios significativos en el tono y color (que indicaron una recuperación de la cobertura forestal) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela analizada.</li> <li>e) Lo anterior se corroboró con evidencias de recuperación de la vegetación leñosa por encima de los umbrales de la definición de bosque, halladas con la interpretación de la imagen de muy alta resolución de 2016.</li> <li>f) Debido a que no se dispone de imágenes de alta o muy alta resolución para todo el periodo de análisis, resultó altamente complejo determinar (sobre las imágenes Landsat) el año específico en que la recuperación de la vegetación leñosa superó los umbrales de la definición de bosque. En otras palabras, no fue posible determinar la evolución paulatina de la recuperación sobre las imágenes de mediana resolución. En lugar de ello, se observó el resultado final de la recuperación en el año 2016.</li> </ul> </li> </ul> <p>6. El tipo de vegetación INEGI correspondiente a la etiqueta de "Tierras Forestales" del año 2016, así como la clase INEGI correspondiente a "Praderas" del año 2000, fueron identificadas siguiendo un procedimiento análogo al descrito en la sección <i>criterios de fotointerpretación para el año base "2016"</i>.</p> <p>Es importante mencionar que un caso específico de recuperación es la que México define como "recuperación parcial", y que consiste en el mismo concepto de "recuperación" definido en el primer párrafo, pero con la única diferencia de que la recuperación de la vegetación leñosa en el año 2016 alcanzó la fase sucesional arbustiva (observada con las</p>	<p>a)</p>  <p>b)</p>  <p><b>Figura R.</b> Visualización de un uso del suelo de Tierras Forestales en una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat 8 del año 2016 en a) RGB y b) falso color</p>  <p><b>Figura S.</b> Visualización de un uso del suelo de Praderas en</p>

Transición IPCC (conversiones de uso de la tierra)	Criterios específicos para la interpretación de la clase INEGI del año 2000 para los cambios de uso del suelo (deforestación y reforestación/recuperación) entre 2000-2016	Ejemplos de imágenes satelitales utilizadas
	<p>imágenes de alta y muy alta resolución) pero no superó los umbrales de la definición de bosque. En una recuperación parcial, la vegetación leñosa en fase sucesional arbustiva se clasifica como TF en 2016 porque no hay evidencias para asignar una categoría IPCC de TNF. El proceso de identificación de la recuperación parcial es análogo al descrito en los numerales anteriores.</p>	<p>una parcela de muestreo, empleando una imagen de mediana resolución Landsat 8 del año 2000</p>

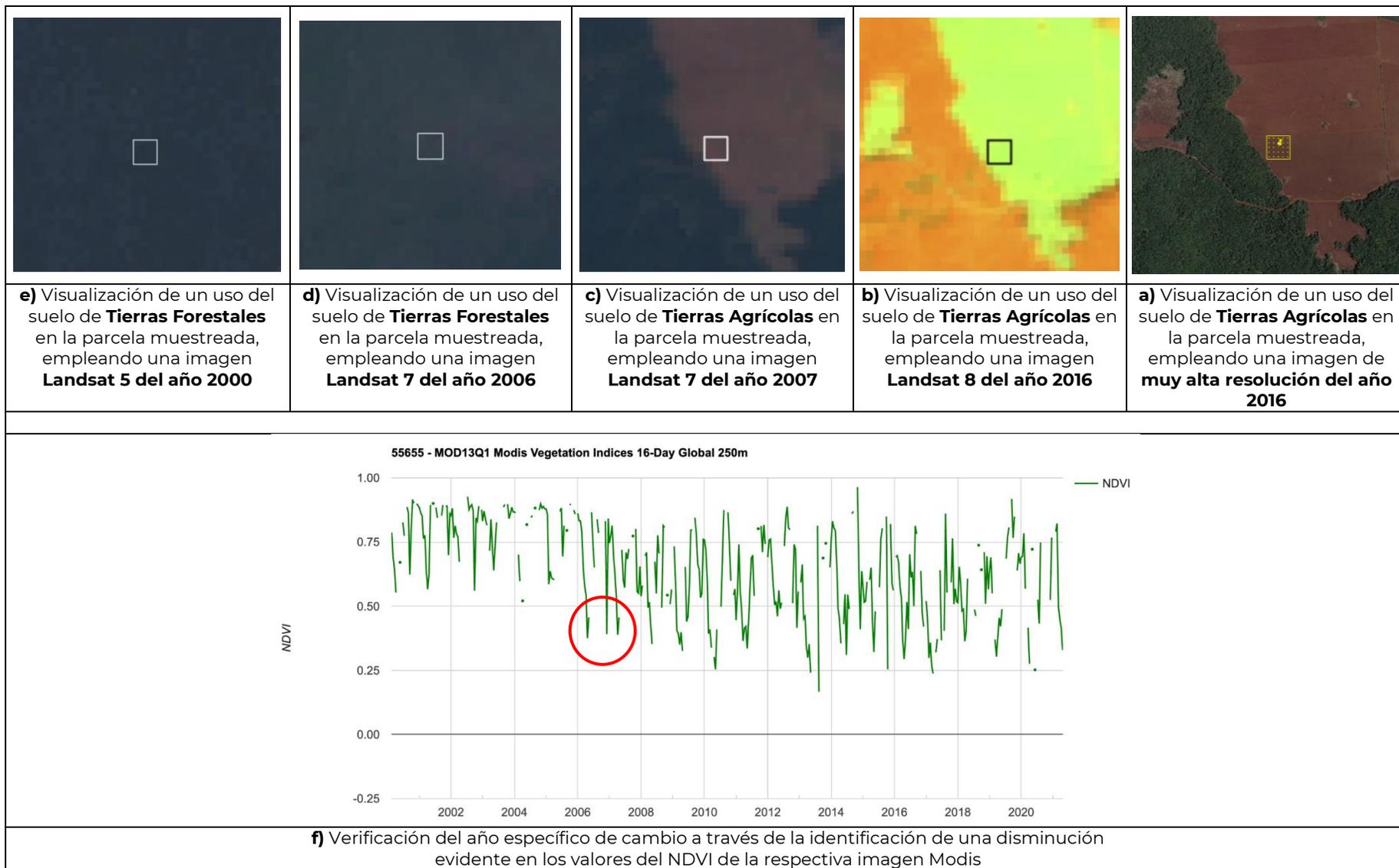
### **Resumen de criterios para identificar el año de la perturbación y registro de la información fotointerpretada**

A continuación, se hace una síntesis del proceso de identificación del año específico en que ocurrió una perturbación, de acuerdo con los criterios descritos en las secciones *Criterios de fotointerpretación para el año base "2016"* y *Criterios de fotointerpretación para el año inicial "2000"*.

Para identificar el año específico de cambio en aquellas parcelas en las que ocurrió una perturbación (pérdida de la cobertura de vegetación leñosa) y/o cambios de categoría IPCC entre el año 2000 y 2016 (de acuerdo con lo descrito en el punto dos de la sección anterior), se procedió a:

1. Determinar la categoría IPCC de una parcela en el año 2016, mediante la interpretación de una imagen de alta y muy alta resolución.
2. Se caracterizaron los criterios visuales de tono y color de los píxeles de la imagen de mediana resolución Landsat del año 2016 que se ubicaron dentro de la misma parcela. Se infirió que los criterios visuales caracterizados en la imagen Landsat 2016 se corresponden con la categoría IPCC identificada en el paso 1 a través de la imagen de alta o muy alta resolución.
3. Un cambio en la categoría IPCC (o un cambio en la cobertura de vegetación leñosa), y el respectivo año en que sucedió, fue identificado cuando, a través de la comparación visual de las series multitemporales de las imágenes Landsat 5, 7 y 8, se identificaron cambios significativos en el tono y color (que indicaran una pérdida o recuperación de la cobertura de la vegetación leñosa y/o un cambio de uso del suelo) en más del 50% de los píxeles ubicados dentro de la parcela analizada, en las imágenes de dos años consecutivos.
4. También se analizaron los criterios de textura y estructura de las imágenes de años consecutivos, tanto de los píxeles al interior de la parcela como de los píxeles del contexto de esta, con la finalidad de asegurar una interpretación correcta del cambio. Se puso énfasis en diferenciar los tipos de texturas (desde texturas gruesas como la de los bosques y selvas, hasta las texturas finas como las de áreas agrícolas y praderas). La estructura se relacionó con los diferentes niveles de arreglo de las coberturas terrestres observadas, reconociendo ciertos patrones espaciales propios de áreas urbanas, zonas agrícolas, zonas forestales, cuerpos de agua, etc.
5. La categoría IPCC del año 2000 fue determinada mediante fotointerpretación de la imagen Landsat del mismo año.
6. Finalmente, como una medida de verificación, se corroboró el año específico de cambio a través de la identificación de una disminución evidente en los valores del NDVI de la respectiva imagen MODIS a lo largo del periodo de análisis. Es importante mencionar que esta fue una medida adicional de verificación, pero que el procedimiento sustancial para definir el año de cambio es el análisis multitemporal de las imágenes Landsat.

Cada uno de los pasos de este procedimiento se ejemplifican e ilustran en la **Figura 20**.



**Figura 20.** Procedimiento para la identificación del año específico de cambio de categoría IPCC (ejemplo: deforestación) y/o cambio de cobertura mediante el análisis multitemporal de imágenes Landsat

Una vez identificado el año específico de cambio, se capturó y registro la siguiente información fotointerpretada, en el formulario de Collect Earth:

- 1) La clase INEGI antes del cambio y la clase INEGI post-cambio
- 2) El año específico de cambio
- 3) La imagen de alta o muy alta resolución o la imagen Landsat con la que se identificó el año de cambio
- 4) La dinámica de cambio de la parcela (deforestación, degradación forestal absoluta, recuperación, etc.)

Cabe mencionar que cuando se presentaron múltiples cambios, la identificación del año específico de cambio y las clases INEGI antes y después del cambio se obtuvieron implementando sucesivamente los pasos 1 a 6 antes descritos.

Una vez identificada la clase INEGI en el año 2000, se procedió a la captura y registro de la información fotointerpretada en el formulario de Collect Earth, que incluyó:

- 1) La clase INEGI
- 2) La confianza de fotointerpretación
- 3) La imagen Landsat usada y el año de captura.

Toda esta información fue integrada y sistematizada en una base de datos llamada "**Base de Datos de Fotointerpretación**"

#### ***Integración de la Matriz de Clases INEGI***

A partir de la "**Base de Datos de Fotointerpretación**" se construyó una nueva base de datos denominada "**Matriz Multitemporal de Clases INEGI**".

La **Matriz Multitemporal de Clases INEGI** se refiere a una tabla rectangular de datos en la que las filas contienen el identificador de 26,220 parcelas y en las columnas las clases INEGI de cada parcela para cada año del periodo 2000-2016. La matriz cuenta con 26,220 filas y 17 columnas; las filas correspondieron a cada una de las parcelas muestreadas; en la columna 1 se almacenó el Id de cada parcela muestreada y de la columna 2 a la 17 se almacenó la clase INEGI de cada año (2000-2016) para cada parcela muestreada. La Matriz Multitemporal de Clases INEGI se elaboró de acuerdo con lo siguiente:

1. En la **Base Datos de Fotointerpretación** se identificó el Id de las parcelas muestreadas, la clase INEGI al año 2000, la clase INEGI al año 2016, las fechas de cambio y en los casos de múltiples cambios se identificaron las clases INEGI pre y post-cambio.
2. Se elaboró una Matriz de Clases INEGI con 26,220 filas y 18 columnas, en la columna 1 se almacenó el Id de las 26,220 parcelas.
3. Para las parcelas cuya clase INEGI al año 2000 fue la misma que la clase INEGI al año 2016, se asignó la misma clase INEGI de la columna 2 a la 18 de la **Matriz Multitemporal de Clases INEGI**.
4. Para las parcelas cuya clase INEGI al año 2000 fue diferente que la clase INEGI al año 2016 y que presentaron sólo un cambio de clase en toda la serie temporal; la Clase INEGI del año 2000 se asignó de la columna 2 y hasta la columna "k" de la **Matriz Multitemporal de Clases INEGI**, donde k corresponde a la columna del año en que ocurrió el cambio de Clase INEGI, después del año de cambio se asignó la clase INEGI del año 2016 de la columna "k + 1" y hasta la columna 18 de la **Matriz Multitemporal de Clases INEGI**.
5. Para las parcelas cuya clase INEGI al año 2000 fue diferente que la clase INEGI al año 2016 y que presentaron más un cambio de clase en toda la serie temporal; la Clase INEGI del año 2000 se asignó de la columna 2 y hasta la columna "k" de la **Matriz Multitemporal de Clases INEGI** (donde k corresponde a la columna del año en que ocurrió el primer cambio de Clase INEGI), después del primer año de cambio se asignó las clase INEGI del primer post-cambio desde la columna "k + 1" y hasta la columna "l" de la **Matriz Multitemporal de Clases INEGI** (donde l corresponde a la columna del año en que ocurrió el segundo cambio de Clase

INEGI), para sucesivos cambios de procedió de manera análoga a lo implementado en el primer y segundo cambio hasta llegar a la asignación de la clase INEGI del año 2016 en la columna 18 de la **Matriz Multitemporal de Clases INEGI**.

Los criterios específicos empleados para asignar las clases INEGI en las columnas 2 a 18 de la **Matriz Multitemporal de Clases INEGI** (dependiendo de la condición de permanencia, un solo cambio de clase o varios cambios de clase descritos previamente en los puntos 3 a 5), se describen detalladamente en el Capítulo 2 del Anexo Metodológico.

La base de datos con el etiquetado de la clase INEGI de cada una de las 26,220 parcelas y para cada uno de los años del periodo 2000-2016 llamada "**Matriz Multitemporal de Clases INEGI**", se encuentra disponible en la siguiente liga: [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/BaseDatos\\_26220\\_INEGI/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/BaseDatos_26220_INEGI/)

### **Integración de la Matriz de Categorías IPCC**

Una vez integrada la Matriz Multitemporal de Clases INEGI, las Clases INEGI se tradujeron a clases IPCC (a través del empleo de una tabla de correspondencia que puede ser consultada en Tabla\_deCorrespondenciaVegetacionFREL.xlsx) con lo que se desarrolló la "**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**". A esta matriz se le aplicó una serie de criterios para identificar correctamente los procesos de deforestación bruta, degradación forestal absoluta y recuperación que permitió implementar adecuadamente las definiciones operativas del presente NREF y evitar la doble contabilidad de emisiones por deforestación bruta y degradación forestal absoluta. Estos criterios se describen en el **Cuadro 23** y se abordan con mayor detalle en el Capítulo 2 del Anexo Metodológico.

#### **Cuadro 23**

#### **Criterios de integración de Matriz IPCC**

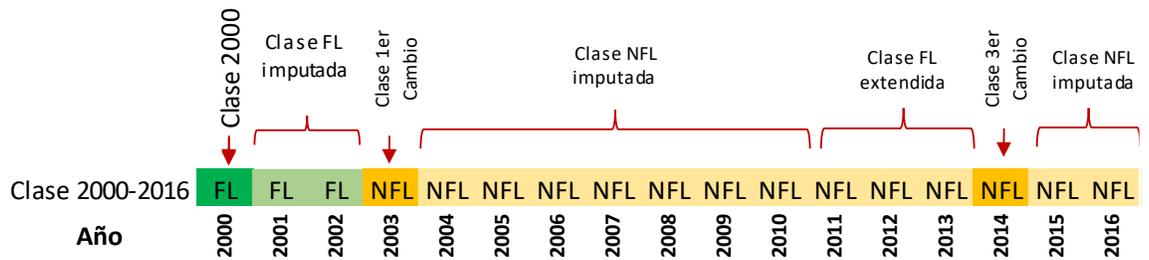
**Cuadro 23.** Criterios específicos utilizados para ajustar la Matriz Multitemporal de Categorías IPCC dependiendo de la conversión de uso del suelo o transición entre categorías IPCC durante el periodo 2000-2016.

<b>Tipo de conversión de uso del suelo en el periodo 2000-2016</b>	<b>Criterios específicos empleados para ajustar la Matriz Multitemporal de Categorías IPCC dependiendo del tipo de conversión de uso del suelo durante el periodo 2000-2016</b>
TF-TNF-TF-TNF	<p>Las parcelas en las que se identificaron, a partir de la "<b>Matriz Multitemporal de Clases INEGI</b>", más de dos cambios de clase INEGI que implicaban más de dos cambios de categoría IPCC durante el periodo de análisis, fueron sometidas a un proceso de control de calidad adicional y analizadas previamente a la integración de la "<b>Matriz Multitemporal de Categorías IPCC</b>". A continuación, se muestra un ejemplo de este caso específico (<b>Figura T</b>) y luego se describe su integración a la matriz de categorías IPCC (ver <b>Figura U</b>):</p> <p><b>Figura T.</b> Ejemplo de matriz multitemporal de clases INEGI, a nivel de parcela, que implica más de dos cambios de categoría IPCC durante el periodo de análisis.</p> <p>Para este caso específico, en la versión final de la "<b>Matriz Multitemporal de Categorías IPCC</b>", sólo fue considerado el primer cambio de uso del suelo y se asumió que dicho cambio fue permanente</p>

**Tipo de conversión de uso del suelo en el periodo 2000-2016**

**Criterios específicos empleados para ajustar la Matriz Multitemporal de Categorías IPCC dependiendo del tipo de conversión de uso del suelo durante el periodo 2000-2016**

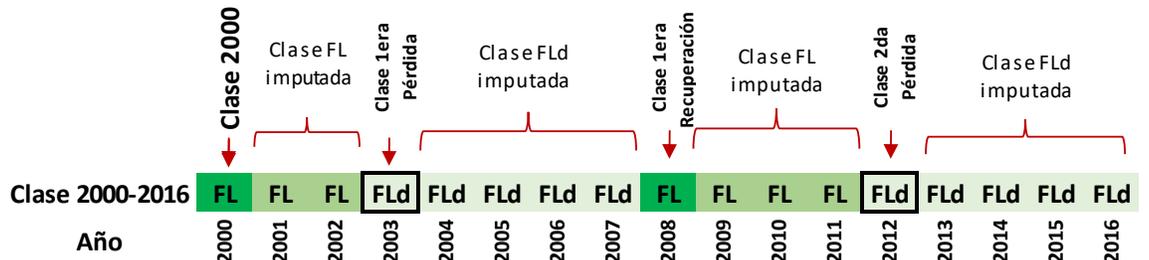
hasta el año 2016 (**Figura U**). Se aplicó este criterio en virtud de que se observó que en el primer cambio ocurrió la pérdida de cobertura de vegetación leñosa más importante. Además, con la implementación de este criterio, se aseguró evitar la doble contabilidad de emisiones.



**Figura U.** Esquema de asignación de categorías IPCC a nivel de parcela en la “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC” para el caso específico de una matriz multitemporal de clases INEGI con más de dos cambios de categoría IPCC durante el periodo de análisis.

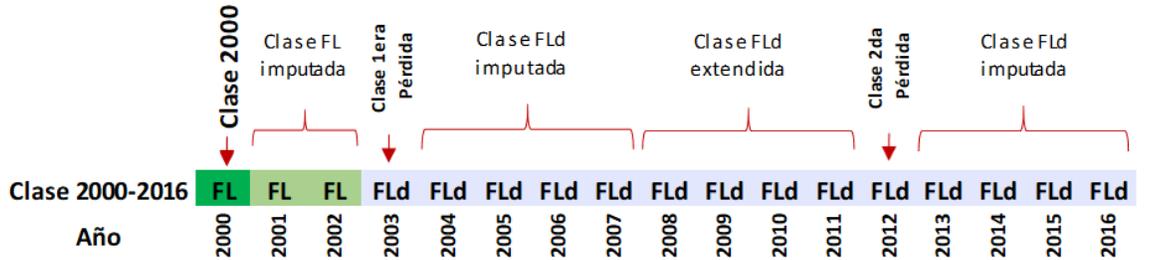
TF-TFd-TF-TFd

Las parcelas en las que se identificaron, a partir de la “**Matriz Multitemporal de Clases INEGI**”, dos o más eventos de DFA durante el periodo de análisis, también fueron sometidas a un proceso de control de calidad adicional y analizadas previamente a la integración de la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**”. A continuación, se muestra un ejemplo de este caso específico (**Figura V**) y luego se describe su integración a la matriz de categorías IPCC (**Figura W**):



**Figura V.** Ejemplo de matriz multitemporal de clases INEGI, a nivel de parcela, con dos o más eventos de DFA durante el periodo de análisis.

Para este caso específico, en la versión final de la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**”, sólo fue considerado el primer evento de DFA y se asumió que la pérdida de cobertura de vegetación leñosa fue permanente hasta el año 2016 (**Figura W**). Con la implementación de este criterio, se aseguró evitar la doble contabilidad de emisiones.



**Figura W.** Esquema de asignación de Categorías IPCC a nivel de parcela en la “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC” para el caso específico de una matriz multitemporal de clases INEGI con dos o más

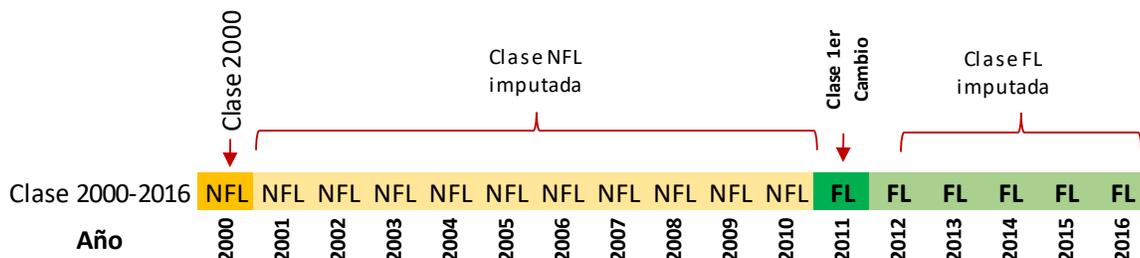
**Tipo de conversión de uso del suelo en el periodo 2000-2016**

**Criterios específicos empleados para ajustar la Matriz Multitemporal de Categorías IPCC dependiendo del tipo de conversión de uso del suelo durante el periodo 2000-2016**

eventos de DFA durante el periodo de análisis.

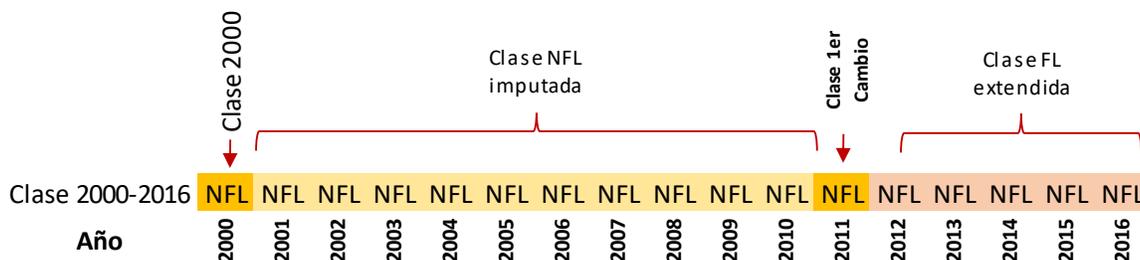
TNF-TF

Las parcelas en las que se identificó, a partir de la “**Matriz Multitemporal de Clases INEGI**”, una recuperación de la cobertura forestal durante el periodo de análisis, también fueron sometidas a un proceso de control de calidad adicional y analizadas previamente a la integración de la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**”. A continuación, se muestra un ejemplo de este caso específico (**Figura X**) y luego se describe su integración a la matriz de categorías IPCC (**Figura Y**):

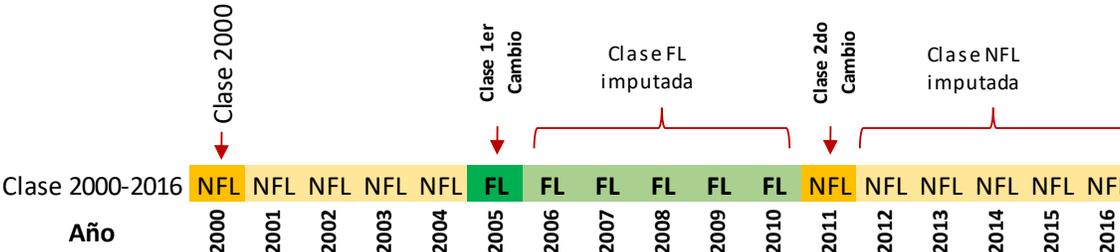
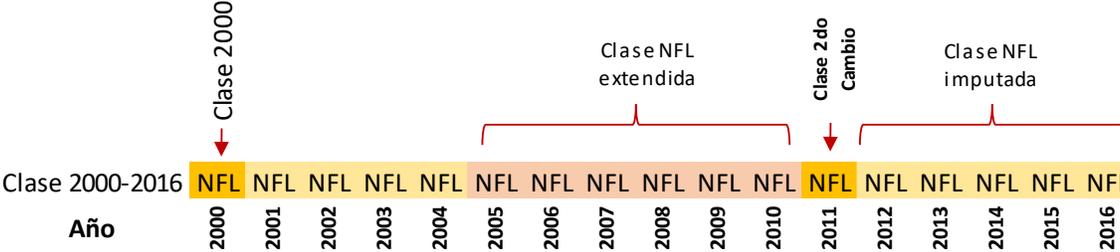


**Figura X.** Ejemplo de matriz multitemporal de clases INEGI, a nivel de parcela, con recuperación de la cubierta forestal durante el periodo de análisis

Este caso específico se consideró como una permanencia de Tierras No Forestales en la versión final de la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**” para todo el periodo de análisis (**Figura Y**). Debido a que técnicamente es complejo identificar correctamente el año específico de la recuperación de la cobertura forestal (a causa de los alcances de las imágenes de mediana resolución) y a que el tiempo promedio de recuperación oscila entre 10 a 15 años en una parte considerable de ecosistemas templados y semiáridos, se asume que dentro del periodo del 2000 al 2010 no es posible identificar las recuperaciones que iniciaron aproximadamente en el periodo 1985-1995. Por lo anterior, es altamente probable que se subestime la cuantificación de la recuperación en la mayor parte del periodo de análisis. En este contexto, y sólo en el marco del presente NREF, se decidió no considerar las recuperaciones identificadas. Es importante aclarar que esta decisión no tiene ningún efecto sobre las estimaciones de emisiones de las actividades incluidas en el NREF.



**Figura Y.** Esquema de asignación de Categorías IPCC a nivel de parcela en la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**” en el caso específico de recuperación de la cubierta forestal durante el periodo de 2000 – 2016

Tipo de conversión de uso del suelo en el periodo 2000-2016	Criterios específicos empleados para ajustar la Matriz Multitemporal de Categorías IPCC dependiendo del tipo de conversión de uso del suelo durante el periodo 2000-2016
TNF-TF-TNF	<p>Las parcelas en que, a partir de la “Matriz Multitemporal de Clases INEGI”, su clase inicial 2000 fue de Tierras No Forestales y su clase final 2016 también fue de Tierras No Forestales, pero que mostraron una recuperación intermedia de la cubierta forestal (<b>Figura Z</b>), fueron sometidas a un proceso de control de calidad adicional y analizadas previamente para integrarlas la “<b>Matriz Multitemporal de Categorías IPCC</b>”.</p>  <p><b>Figura Z.</b> Ejemplo de matriz multitemporal de clases INEGI, a nivel de parcela, con clase inicial 2000 TNF y clase final 2016 de TNF, pero que mostraron una recuperación intermedia de la cubierta forestal durante el periodo de análisis.</p> <p>Este caso específico fue considerado como permanencias de Tierras No Forestales en la versión final de la “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC” durante todo el periodo 2000 – 2016 (<b>Figura AA</b>). Esta decisión está basada en el mismo argumento técnico que el del caso específico anterior: la complejidad para identificar las recuperaciones en la mayor parte del periodo de análisis.</p>  <p><b>Figura AA.</b> Esquema de asignación de Categorías IPCC a nivel de parcela en la “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC” en el caso específico de clase inicial 2000 de TNF y clase final 2016 de TNF, pero que mostraron una recuperación intermedia de la cubierta forestal durante el periodo de análisis.</p>

TF: Tierra Forestal  
 TNF: Tierra No Forestal  
 TFd: Tierra Forestal con DFA

Es importante destacar que la “**Matriz Multitemporal de Clases INEGI**” fue sólo un insumo para generar la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**”, por lo que la “**Matriz Multitemporal de Clases INEGI**” no tuvo otra función en el proceso de elaboración del NREF y en las secciones sucesivas de este documento no se mencionará nuevamente.

Con la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**” fue posible identificar parcelas que permanecieron con el mismo uso del suelo, parcelas que cambiaron de uso del suelo (deforestación,

por ejemplo) y parcelas que perdieron cobertura forestal debido a la perturbación definida como degradación forestal absoluta.

La base de datos con el etiquetado de la clase INEGI de cada una de las 26,220 parcelas y para cada uno de los años del periodo 2000-2016 llamada “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC”, se encuentra disponible en la siguiente liga: [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/BaseDatos\\_26220\\_QCFinal/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/BaseDatos_26220_QCFinal/)

### **Metodología empleada para la estimación de superficies de Tierras Forestales y sus incertidumbres**

Partiendo de la información de la “**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**” como insumo para caracterizar para cada año específico las Categorías IPCC de una muestra sistemática distribuida a nivel nacional y siguiendo el enfoque de estimación de superficies por medio de proporciones, se estimaron las superficies forestales de un año en particular de acuerdo con la intensidad de muestreo (o distanciamiento de 20x20 km, 10x10 km o 5x5 km) en cada una de las 7 ecorregiones que conforman el área de contabilidad.

En particular, el área forestal en la  $i$ -ésima (5x5, 10x10 y 20x20 km) intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión del  $k$ -ésimo año, se estimó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\widehat{ATF}_{ij} = \frac{n_{ij}}{N_{ij}} \times AT_{ij}$$

Donde:

$\widehat{ATF}_{ij}$ : área de tierra forestal estimada en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión,

$n_i$ : número de parcelas de la clase “Tierra Forestal” y “Tierra Forestal Degradada” en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión,

$N_{ij}$ : número total de parcelas muestreadas en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión y

$AT_{ij}$  área total de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión.

La incertidumbre del  $\widehat{ATF}_{ij}$  se estimó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$U(\widehat{ATF}_{ij}) = \frac{Z_{\alpha/2} * s(\widehat{ATF}_{ij})}{\widehat{ATF}_{ij}} * 100$$

Donde:

$Z_{\alpha/2}$  es el percentil 95% del modelo de distribución empírico que ajusta los datos,

$$s(\widehat{ATF}_{ij}) = AT_{ij} * \sqrt{\frac{p_{ij}(1-p_{ij})}{N_{ij}-1}}$$

$s(\widehat{ATF}_{ij})$  es la desviación estándar del área de tierra forestal estimada en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión obtenida anteriormente con los insumos ya definidos y

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N_{ij}}$$

Este procedimiento se implementó para las  $i$  intensidades de muestreo en las  $j$  ecorregiones y se procedieron a sumar estas superficies estimadas de “Tierras Forestales” en cada uno de los  $k$  años para obtener el área de “Tierra Forestal” a nivel nacional:

$$ATFN_k = \sum_{j=1}^7 \sum_{i=1}^3 \widehat{ATF}_{ij}$$

La incertidumbre del área de “Tierra Forestal” a nivel nacional  $\widehat{ATFN}_k$  del año k, se obtuvo propagando las incertidumbres por la suma siguiendo lo sugerido en el capítulo 3 de “Incertidumbres” del Volumen 1 de las Directrices del IPCC (2006):

$$U(\widehat{ATFN}_k) = \frac{\sqrt{(U(\widehat{ATF}_{11}) * \widehat{ATF}_{11})^2 + (U(\widehat{ATF}_{12}) * \widehat{ATF}_{12})^2 + \dots + (U(\widehat{ATF}_{37}) * \widehat{ATF}_{37})^2}}{|\widehat{ATFN}_k|}$$

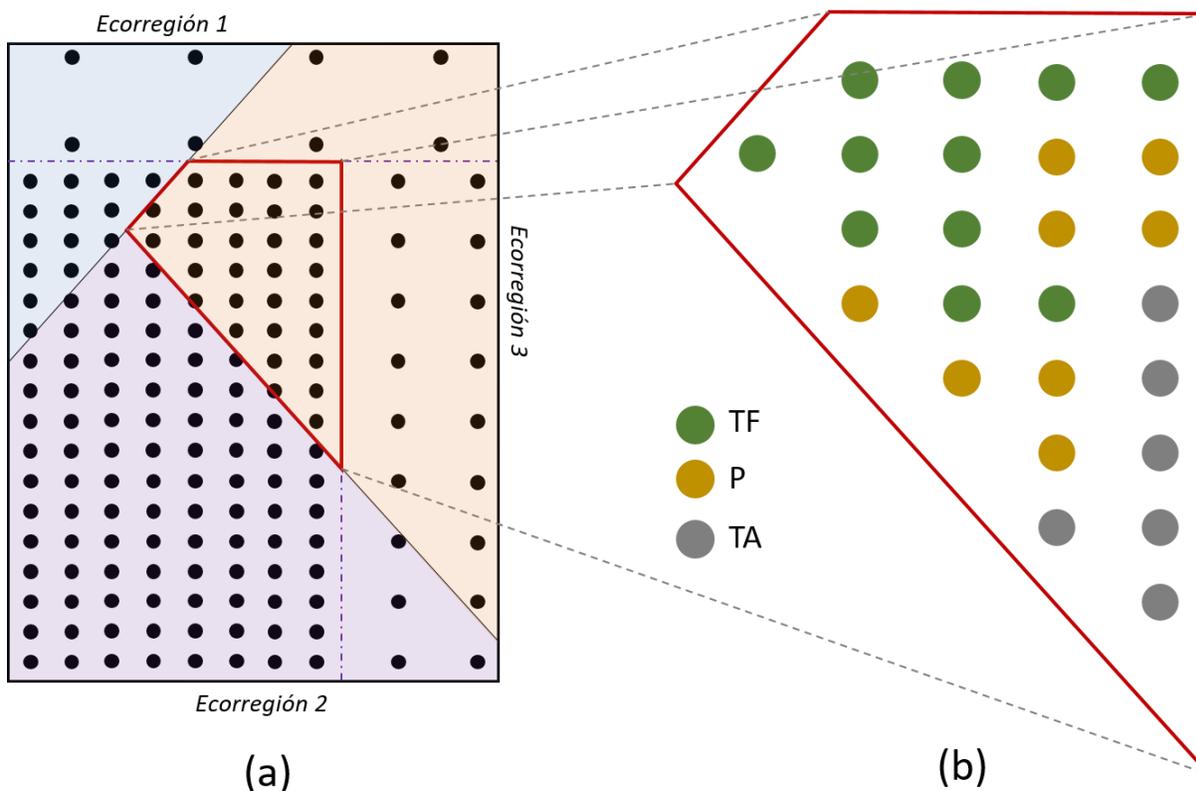
Donde:

$U(\widehat{ATFN}_k)$  es la incertidumbre del área de “Tierra Forestal” a nivel nacional del año k,  $U(\widehat{ATF}_{ij})$  y  $\widehat{ATF}_{ij}$  ya fueron definidos previamente.

Cabe mencionar que todo el proceso de estimación de áreas y sus incertidumbres se programó en un algoritmo desarrollado en el *Software* Estadístico R Project.

Este proceso metodológico descrito previamente se ejemplifica gráficamente a continuación:

- I. Supongamos que el país está dividido en tres ecorregiones y tres intensidades de muestreo (5x5, 10x10 y 20x20 km) como se muestra en la **Figura 21-a**.
- II. Supongamos que el área de la ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km tiene un área de 1000 ha (ver polígono de contorno rojo de la **Figura 21-a**).
- III. Supongamos ahora que nos interesa estimar el área de las Categorías IPCC en el polígono definido en el punto anterior II (ver polígono de contorno rojo de la **Figura 21-a**).
- IV. Supongamos que conocemos la clase IPCC de cada una de las parcelas del polígono definido el punto II (**Figura 21**).



**Figura 21.** (a) Diagrama con las áreas hipotéticas de un país dividido en tres ecorregiones y con tres intensidades de muestreo, (b) Diagrama con la representación de un área hipotética de una ecorregión-intensidad de muestreo con 25 parcelas con las Categorías IPCC identificadas.

- V. Con base en lo mostrado en la **Figura 21-b**, sabemos que el número total de parcelas en el polígono de interés es de 25 (N) y que, de estas, 11 pertenecen a la clase de Tierra Forestal (TF), 8 a la clase de Pradera (P) y 6 a la clase de Tierra Agrícola (TA).
- VI. Con base en la numeraria de punto anterior (V) y a la superficie de la ecorregión 3 con intensidad de 5x5km que supuso de 1000 ha, se estima las áreas de las Categorías IPCC en el polígono de interés de acuerdo con lo siguiente:
- $$\text{Área de TF} = \frac{11}{25} \times 1000 \text{ ha} = 440 \text{ ha}$$
- $$\text{Área de P} = \frac{8}{25} \times 1000 \text{ ha} = 320 \text{ ha}$$
- $$\text{Área de TA} = \frac{6}{25} \times 1000 \text{ ha} = 240 \text{ ha}$$
- VII. Para conocer las áreas de las categorías o Categorías IPCC en todo el país; para cada ecorregión e intensidad de muestreo se debe proceder de manera análoga a lo mostrado previamente y una vez obtenidas las áreas de Categorías IPCC a este nivel, se sumaron para obtener las estimaciones a nivel nacional.

En la práctica, para estimar a nivel nacional las áreas de las categorías IPCC en cada año (dentro del periodo 2000-2016), se tomó como referencia el área continental del país y de la isla de Cozumel y esta área se dividió en 21 estratos definidos por las ecorregiones Nivel 1 y la intensidad de muestreo del INFyS (5x5, 10x10 y 20x20 km). Empleando la información de la **“Matriz Multitemporal de categorías IPCC”**, para cada uno de estos 21 estratos se estimó el área de las Categorías IPCC siguiendo el enfoque de proporciones. Una vez obtenidas las áreas de las Categorías IPCC a nivel de los 21 estratos, se sumaron para obtener las estimaciones a nivel nacional.

### **8.1.2 Estimación de la dinámica de Tierras Forestales**

Una vez estimada la superficie de tierras forestales a nivel nacional para cada año (de acuerdo con lo descrito en la sección anterior), se estimó la superficie deforestada anualmente a partir de la diferencia de la superficie de tierras forestales a nivel nacional entre años contiguos. Los insumos utilizados y metodología empleada para la estimación de la superficie anual deforestada se presentan a continuación.

#### ***Insumos para la estimación de la dinámica de Tierras Forestales***

El principal insumo utilizado para la estimación de la superficie anual deforestada fueron las estimaciones de la superficie forestal total anual a nivel nacional que se obtuvo para cada año de acuerdo a lo expuesto en la sección 8.1.1.

#### ***Metodología para la estimación de la dinámica de Tierras Forestales y sus incertidumbres***

##### ***Estimación de la superficie anual deforestada***

Una vez estimada la superficie de tierras forestales a nivel nacional para cada año (de acuerdo con lo descrito en la sección anterior), se estimó la superficie deforestada anualmente a partir de la diferencia de la superficie de tierras forestales a nivel nacional entre años contiguos. Los insumos utilizados y metodología empleada para la estimación de la superficie anual deforestada se presentan a continuación.

El principal insumo utilizado para la estimación de la superficie anual deforestada fueron las estimaciones de la superficie forestal total anual a nivel nacional que se obtuvo para cada año de acuerdo con lo expuesto en la sección 8.1.1.

La superficie anual deforestada se obtuvo a partir de la diferencia de la superficie total de tierras forestales a nivel nacional entre años consecutivos, de acuerdo con lo siguiente:

$$\widehat{AD}_k = \widehat{ATFN}_{ijk-1} - \widehat{ATFN}_{ijk}$$

Donde:

$\widehat{AD}_k$ : área total deforestada nacional estimada por diferencia de existencias para el año  $k$ -ésimo (que es entre los años  $(k-1)$  al  $k$ -ésimo)

$\widehat{ATFN}_{ijk}$ : área total de tierra forestal nacional estimada en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión para el  $k$ -ésimo año.

$k$ : subíndice para identificar los años del periodo 2000-2016.

Para estimar la incertidumbre de  $\widehat{AD}_k$  es necesario recurrir a las propiedades de la varianza de una variable que resulta de la resta de dos variables. Ross (2010), señala que si  $X_1, X_2, \dots, X_n$  son independientes a pares para  $i \neq j$  entonces la varianza es equivalente a:

$$Var\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) = \sum_{i=1}^n Var(X_i) - 2 \sum_{i \neq j} Cov(X_i, X_j)$$

Por lo tanto, con base a la expresión anterior, en virtud de que de  $\widehat{AD}_k$  resulta de la diferencia de  $\widehat{ATFN}_{ijk-1}$  y  $\widehat{ATFN}_{ijk}$ , la varianza de  $\widehat{AD}_k$  puede obtenerse con base en la siguiente ecuación:

$$Var(\widehat{AD}_k) = Var(\widehat{ATFN}_{ijk-1}) + Var(\widehat{ATFN}_{ijk}) - 2 Cov(\widehat{ATFN}_{ijk-1}, \widehat{ATFN}_{ijk})$$

Donde la  $Var(\widehat{ATFN}_{ijk-1})$  y la  $Var(\widehat{ATFN}_{ijk})$  se obtuvieron de acuerdo a lo descrito en la sección anterior y para obtener la estimación de la  $Cov(\widehat{ATFN}_{ijk-1}, \widehat{ATFN}_{ijk})$ , se recurrió a la propuesta de Scott (2018) que señala que la covarianza de la razón de dos atributos se calcula como el total de  $y$  en el dominio  $d$  dividido por el total de  $x$  en el dominio  $d'$  (donde  $d'$  es un subconjunto de  $d$ ):

$$cov(\bar{Y}_d, \bar{X}_{d'}) = \frac{\sum_i y_{id} x_{id'} - n \bar{y}_d \bar{x}_{d'}}{n(n-1)}$$

Donde:

$y_{id}$ : el atributo de interés en el dominio de interés  $d$  en la parcela  $i$  expresado por unidad de área (hectárea)

$x_{id'}$ : el atributo de interés en el dominio de interés  $d$  en la parcela  $i$  expresado por unidad de área (hectárea), (es un subconjunto del dominio de  $y_{id}$ )

$n$ : número de parcelas que caen (incluso parcialmente) en la población.

Para el caso particular de las variables de interés de este reporte, la ecuación anterior también puede expresarse como:

$$Cov(\widehat{ATFN}_{ijk-1}, \widehat{ATFN}_{ijk}) = \frac{(AT_{ij})^2 * (m - N_{ij} \hat{p}_{ijk-1} \hat{p}_{ijk})}{N_{ij}(N_{ij} - 1)}$$

Dónde:

$m$ : número de parcelas de la clase "Tierra Forestal" en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión que conservan su clase en el año siguiente  $k$ ,

$N_{ij}$ : número total de parcelas muestreadas en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión y.

$AT_{ij}$ : área total de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión.

$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N_{ij}}$ : es la proporción de puntos con respecto al total de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión.

Obteniendo la varianza de la diferencia de existencias, la incertidumbre de  $\widehat{AD}_k$  se obtuvo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$U(\widehat{AD}_k) = \frac{Z_{\alpha/2} * s(\widehat{AD}_k)}{\widehat{AD}_k} * 100$$

Donde:

$$s(\widehat{AD}_k) = \sqrt{Var(\widehat{AD}_k)}$$

### **Estimación de la superficie anual con degradación forestal absoluta**

La superficie anual con DFA y sus incertidumbres se obtuvo de manera análoga a lo descrito en la subsección de “*Metodología empleada para la estimación de superficies de Tierras Forestales y sus incertidumbres*” de la sección 8.1.1; pero contabilizando en el numerador sólo las parcelas con la etiqueta de “Tierra Forestal Degradada”, es decir,  $n_i$ : número de parcelas de la clase “Tierra Forestal Degradada” en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión.

## **8.2. Resultados de la dinámica de la superficie de Tierras Forestales de México**

El número de parcelas que presentaron deforestación y degradación forestal absoluta en el periodo 2000 – 2016 se muestran en los **Cuadro 24** y **25** por sub-estrato (ecorregión x equidistancia).

El **Cuadro 26** muestra la dinámica de la superficie del área de contabilidad del NREF de México, desglosada por cada una de las 7 ecorregiones y de las 6 clase o categorías IPCC, incluyendo las Tierras Forestales, para el periodo 2000-2016. La superficie de Tierras Forestales de México ha disminuido desde 101,269,170 ha en el año 2000, hasta 97,710,859 ha en el año 2016. Lo anterior implica una pérdida de 3,558,311 ha en 16 años.

Otro resultado relevante es la coincidencia en el orden de magnitud de la superficie de Tierras Forestales en el año 2014 (98,356,276 ha) y de la cifra de permanencias de Tierras Forestales entre 2011-2014 reportada en el INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN (97,435,222 ha). Esta coincidencia adquiere mayor relevancia si se toma en cuenta que ambos datos provienen de metodologías diferentes, pero que han empleado el mismo concepto de bosque.

Las incertidumbres asociadas a las superficies de las 6 categorías IPCC se muestran en el **Cuadro 27**. Las incertidumbres más bajas corresponden a las superficies de Tierras Forestales, fluctuando entre 2% y 8%, dependiendo del sub-estrato (ecorregión x distanciamiento) y del año analizado.

La tendencia decreciente de las Tierras Forestales (**Figura 22** y **Figura 23**) contrasta con el incremento de Praderas para el mismo periodo. En la **Figura 22** se observa que las Tierras Agrícolas también están incrementando su superficie, aunque en menor magnitud. Este comportamiento indica que el incremento de Praderas y Tierras Agrícolas está correlacionado con la pérdida de Tierras Forestales, lo que es consistente con los resultados del INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN.

Otro resultado importante es que la magnitud de superficie de cambio de las Tierras Forestales es mayor en los últimos años analizados. Los datos muestran que para la segunda parte del periodo (2009 – 2016) se ha perdido alrededor del doble de la superficie que en la primera parte del periodo analizado (2001 – 2008).

**Cuadro 24.** Número de parcelas muestreadas y deforestadas por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 - 2016

Ecorregión-equidistancia-Clave IPCC		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed - 10 x 10 - TF	Parcelas en TF	137	137	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	135	135	134	133	133
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-
CalMed - 20 x 20 - TF	Parcelas en TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CalMed - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	58	58	58
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
DesAN - 10 x 10 - TF	Parcelas en TF	988	988	988	988	988	988	988	985	985	983	982	981	981	981	980	980	978
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	-	3	-	2	1	1	-	-	1	-	2
DesAN - 20 x 20 - TF	Parcelas en TF	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DesAN - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	185	185	184	184	184
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
ElevSM - 10 x 10 - TF	Parcelas en TF	101	101	101	101	101	99	99	99	99	98	98	98	98	98	96	95	95
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	2	1	-
ElevSM - 20 x 20 - TF	Parcelas en TF	154	154	154	154	154	154	154	154	154	153	153	153	152	152	152	151	151
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1
ElevSM - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	819	819	819	819	819	819	818	818	818	818	817	817	817	817	815	815	814
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	2	-	1
GraPla - 10 x 10 - TF	Parcelas en TF	464	464	463	463	463	462	462	462	461	460	458	458	457	457	457	455	455
	Parcelas deforestadas	-	-	1	-	-	1	-	-	1	1	2	-	1	-	-	2	-
GraPla - 20 x 20 - TF	Parcelas en TF	48	48	48	47	47	47	47	47	47	47	47	45	45	44	44	44	44
	Parcelas deforestadas	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-
GraPla - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SCH - 10 x 10 - TF	Parcelas en TF	182	181	181	181	180	180	180	180	179	178	177	177	177	177	176	174	172
	Parcelas deforestadas	-	1	-	-	1	-	-	-	1	1	1	-	-	-	1	2	2
SCH - 20 x 20 - TF	Parcelas en TF	109	108	106	105	103	103	103	103	102	100	99	99	98	97	96	95	91
	Parcelas deforestadas	-	1	2	1	2	-	-	-	1	2	1	-	1	1	1	1	4
SCH - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	4,404	4,401	4,389	4,379	4,363	4,346	4,327	4,301	4,274	4,237	4,212	4,193	4,168	4,143	4,113	4,091	4,069
	Parcelas deforestadas	-	3	12	10	16	17	19	26	27	37	25	19	25	25	30	22	22
SCS - 10 x 10 - TF	Parcelas en TF	1,385	1,383	1,380	1,375	1,373	1,370	1,369	1,368	1,367	1,365	1,359	1,355	1,353	1,349	1,346	1,342	1,339
	Parcelas deforestadas	-	2	3	5	2	3	1	1	1	2	6	4	2	4	3	4	3
SCS - 20 x 20 - TF	Parcelas en TF	106	106	105	104	104	104	104	104	103	103	103	102	101	100	98	97	95
	Parcelas deforestadas	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	2	1	2
SCS - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	1,253	1,252	1,249	1,249	1,247	1,245	1,245	1,244	1,241	1,240	1,237	1,231	1,229	1,223	1,220	1,217	1,215
	Parcelas deforestadas	-	1	3	-	2	2	-	1	3	1	3	6	2	6	3	3	2
SieTem - 10 x 10 - TF	Parcelas en TF	344	344	344	344	344	342	341	341	341	341	341	339	338	337	336	336	336
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	2	1	1	1	-	-
SieTem - 20 x 20 - TF	Parcelas en TF	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	165	165	165	165	165
	Parcelas deforestadas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
SieTem - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	10,046	10,040	10,032	10,028	10,025	10,009	10,003	9,996	9,988	9,971	9,964	9,949	9,932	9,923	9,902	9,889	9,874
	Parcelas deforestadas	-	6	8	4	3	16	6	7	8	17	7	15	17	9	21	13	15
<b>Total de parcelas en Tierras Forestales</b>		<b>21,073</b>	<b>21,059</b>	<b>21,029</b>	<b>21,007</b>	<b>20,981</b>	<b>20,938</b>	<b>20,909</b>	<b>20,871</b>	<b>20,828</b>	<b>20,763</b>	<b>20,716</b>	<b>20,666</b>	<b>20,611</b>	<b>20,563</b>	<b>20,493</b>	<b>20,442</b>	<b>20,389</b>
<b>Parcelas deforestadas anuales</b>		<b>-</b>	<b>14</b>	<b>30</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>43</b>	<b>29</b>	<b>38</b>	<b>43</b>	<b>65</b>	<b>47</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>48</b>	<b>70</b>	<b>51</b>	<b>53</b>

CalMed - California Mediterránea  
DesAN - Desiertos de América del Norte  
ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
SieTem - Sierras Templadas  
TF - Tierras Forestales

**Cuadro 25.** Número de parcelas muestreadas y degradadas por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 - 2016

<b>Ecorregión-equidistancia-Clave IPCC</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	
SCH - 20 x 20 - TF	Parcelas en TF	109	108	106	105	103	103	103	103	102	100	99	99	98	97	96	95	91
	Parcelas degradadas	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
SCH - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	4,404	4,401	4,389	4,379	4,363	4,346	4,327	4,301	4,274	4,237	4,212	4,193	4,168	4,143	4,113	4,091	4,069
	Parcelas degradadas	-	3	3	3	7	3	2	2	6	6	3	2	4	-	2	-	-
SCS - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	1,253	1,252	1,249	1,249	1,247	1,245	1,245	1,244	1,241	1,240	1,237	1,231	1,229	1,223	1,220	1,217	1,215
	Parcelas degradadas	-	-	-	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
SieTem - 5 x 5 - TF	Parcelas en TF	10,046	10,040	10,032	10,028	10,025	10,009	10,003	9,996	9,988	9,971	9,964	9,949	9,932	9,923	9,902	9,889	9,874
	Parcelas degradadas	-	1	2	-	2	1	-	-	2	-	2	3	2	-	-	-	-
<b>Total de parcelas en Tierras Forestales</b>		<b>15,812</b>	<b>21,059</b>	<b>21,029</b>	<b>21,007</b>	<b>20,981</b>	<b>20,938</b>	<b>20,909</b>	<b>20,871</b>	<b>20,828</b>	<b>20,763</b>	<b>20,716</b>	<b>20,666</b>	<b>20,611</b>	<b>20,563</b>	<b>20,493</b>	<b>20,442</b>	<b>20,389</b>
<b>Total de parcelas degradadas</b>		<b>-</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem – Sierras Templadas  
TF- Tierras Forestales

**Cuadro 26.** Superficie anual estimada de categorías IPCC por ecorregión en el periodo 2000 – 2016

Ecorregión	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-AH	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816
CalMed-H	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816	33,816
CalMed-OT	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510
CalMed-P	217,581	217,581	217,581	217,581	217,581	217,581	217,581	217,581	217,581	217,581	217,581	217,581	228,452	228,452	241,833	241,833	241,833
CalMed-TA	117,338	117,338	117,338	117,338	117,338	117,338	128,209	128,209	128,209	128,209	128,209	128,209	128,209	128,209	128,209	139,079	139,079
CalMed-TF	2,110,801	2,110,801	2,110,801	2,110,801	2,110,801	2,110,801	2,099,930	2,099,930	2,099,930	2,099,930	2,099,930	2,099,930	2,089,060	2,089,060	2,075,679	2,064,808	2,064,808
DesAN-AH	284,574	284,574	284,574	284,574	284,574	284,574	284,574	294,855	294,855	294,855	294,855	305,137	305,137	305,137	305,137	305,137	315,418
DesAN-H	640,567	640,567	640,567	640,567	679,752	679,752	690,033	690,033	690,033	690,033	690,033	690,033	690,033	690,033	690,033	690,033	690,033
DesAN-OT	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522	1,165,522
DesAN-P	37,502,494	37,502,494	37,502,494	37,502,494	37,463,310	37,463,310	37,413,843	37,395,222	37,356,037	37,327,134	37,327,134	37,248,765	37,252,097	37,252,097	37,177,059	37,177,059	37,177,059
DesAN-TA	3,198,114	3,198,114	3,198,114	3,198,114	3,198,114	3,198,114	3,237,299	3,276,483	3,315,668	3,365,134	3,375,416	3,453,785	3,453,785	3,453,785	3,542,436	3,542,436	3,552,717
DesAN-TF	12,854,656	12,854,656	12,854,656	12,854,656	12,854,656	12,854,656	12,854,656	12,823,811	12,823,811	12,803,248	12,792,966	12,782,685	12,779,353	12,779,353	12,765,740	12,765,740	12,745,177
ElevSM-AH	221,603	221,603	221,603	221,603	221,603	221,603	256,342	325,819	325,819	360,558	360,558	360,558	395,297	395,297	395,297	395,297	395,297
ElevSM-H	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497	114,497
ElevSM-OT	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	156,296	159,186	159,186	193,924
ElevSM-P	8,721,593	8,721,593	8,721,593	8,721,593	8,721,593	8,742,155	8,745,045	8,745,045	8,745,045	8,710,306	8,710,306	8,700,025	8,700,025	8,665,287	8,643,719	8,688,738	8,619,261
ElevSM-TA	4,892,195	4,892,195	4,892,195	4,892,195	4,892,195	4,892,195	4,857,456	4,787,978	4,787,978	4,832,998	4,835,888	4,846,169	4,846,169	4,880,907	4,925,927	4,925,927	4,963,556
ElevSM-TF	8,755,108	8,755,108	8,755,108	8,755,108	8,755,108	8,734,546	8,731,656	8,731,656	8,731,656	8,686,636	8,683,746	8,683,746	8,649,008	8,649,008	8,622,666	8,577,646	8,574,756
GraPla-AH	162,962	162,962	162,962	162,962	162,962	162,962	162,962	162,962	162,962	162,962	162,962	198,594	198,594	198,594	208,810	208,810	208,810
GraPla-H	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274	295,274
GraPla-OT	20,433	20,433	20,433	20,433	20,433	23,192	23,192	23,192	23,192	23,192	23,192	23,192	23,192	23,192	23,192	23,192	23,192
GraPla-P	2,323,646	2,323,646	2,333,862	2,333,862	2,333,862	2,341,319	2,341,319	2,341,319	2,341,319	2,305,687	2,326,120	2,361,752	2,371,968	2,407,600	2,397,384	2,407,600	2,407,600
GraPla-TA	1,272,794	1,272,794	1,272,794	1,308,426	1,308,426	1,308,426	1,308,426	1,308,426	1,318,642	1,364,491	1,364,491	1,364,491	1,364,491	1,364,491	1,364,491	1,374,707	1,374,707
GraPla-TF	6,599,701	6,599,701	6,589,484	6,553,852	6,553,852	6,543,636	6,543,636	6,543,636	6,533,419	6,523,203	6,502,770	6,431,506	6,421,290	6,385,657	6,385,657	6,365,225	6,365,225
SCH-AH	267,984	267,984	267,984	273,371	273,371	273,371	273,371	273,371	276,065	304,943	331,128	331,128	333,821	339,208	365,393	365,393	365,393
SCH-H	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196	933,196

**Cuadro 26.** (Continuación) Superficie anual estimada de categorías IPCC por ecorregión en el periodo 2000 – 2016

Ecorregión	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SCH-OT	182,848	182,848	182,848	182,848	182,848	182,848	185,541	185,541	185,541	185,541	185,541	185,541	185,541	188,235	188,235	188,235	214,420
SCH-P	8,297,918	8,339,336	8,395,150	8,437,496	8,534,728	8,546,254	8,583,964	8,611,652	8,694,402	8,732,687	8,793,711	8,834,115	8,777,862	8,798,397	8,760,070	8,822,860	8,882,957
SCH-TA	1,750,710	1,750,710	1,779,588	1,784,975	1,790,362	1,824,628	1,835,402	1,877,748	1,898,369	1,990,391	2,003,859	2,014,633	2,161,717	2,226,626	2,352,913	2,389,872	2,481,894
SCH-TF	16,018,505	15,977,087	15,892,395	15,839,274	15,736,655	15,690,864	15,639,685	15,569,652	15,463,587	15,304,403	15,203,725	15,152,547	15,059,023	14,965,498	14,851,353	14,751,604	14,573,301
SCS-AH	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	473,328	547,480	547,480	547,480	557,386	594,462
SCS-H	506,232	506,232	506,232	506,232	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100	509,100
SCS-OT	199,397	199,397	199,397	199,397	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	206,435	209,302	209,302	209,302
SCS-P	5,028,681	5,051,360	5,126,755	5,213,360	5,229,000	5,254,546	5,264,452	5,277,225	5,322,903	5,285,826	5,324,145	5,380,972	5,326,631	5,397,855	5,467,516	5,542,911	5,504,210
SCS-TA	4,317,315	4,317,315	4,317,315	4,317,315	4,317,315	4,327,220	4,327,220	4,327,220	4,337,126	4,396,881	4,426,598	4,463,674	4,506,485	4,529,164	4,569,107	4,569,107	4,680,336
SCS-TF	21,242,197	21,219,518	21,144,123	21,057,518	21,031,972	20,996,520	20,986,615	20,973,842	20,918,258	20,895,579	20,827,543	20,733,640	20,671,018	20,577,115	20,464,644	20,379,343	20,269,739
SieTem-AH	635,978	635,978	635,978	635,978	635,978	635,978	638,574	638,574	641,170	671,964	671,964	671,964	674,560	674,560	674,560	674,560	674,560
SieTem-H	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596	2,596
SieTem-OT	60,996	60,996	60,996	60,996	60,996	63,592	63,592	63,592	63,592	63,592	63,592	63,592	66,188	74,621	74,621	74,621	74,621
SieTem-P	5,311,288	5,326,863	5,345,034	5,352,822	5,332,412	5,366,804	5,383,024	5,398,599	5,411,579	5,445,325	5,455,709	5,508,917	5,553,693	5,546,262	5,601,421	5,624,784	5,642,955
SieTem-TA	3,462,337	3,462,337	3,464,933	3,467,529	3,495,727	3,517,139	3,522,331	3,524,927	3,530,119	3,509,709	3,517,496	3,520,092	3,579,083	3,609,877	3,617,665	3,628,048	3,648,815
SieTem-TF	33,688,204	33,672,629	33,651,861	33,641,478	33,633,690	33,575,290	33,551,282	33,533,111	33,512,344	33,468,214	33,450,042	33,394,238	33,285,280	33,253,484	33,190,537	33,156,791	33,117,853
<b>Total TF</b>	<b>101,269,170</b>	<b>101,189,498</b>	<b>100,998,427</b>	<b>100,812,686</b>	<b>100,676,733</b>	<b>100,506,312</b>	<b>100,407,459</b>	<b>100,275,637</b>	<b>100,083,005</b>	<b>99,781,213</b>	<b>99,560,724</b>	<b>99,278,293</b>	<b>98,954,030</b>	<b>98,699,175</b>	<b>98,356,276</b>	<b>98,061,157</b>	<b>97,710,859</b>
<b>Sup Total</b>	<b>194,077,596</b>																

NOTA: La base de datos total que contiene el desglose por equidistancia de muestreo (ResumenSuperficie\_anual\_00\_16\_Ecorregion.xls) se encuentra disponible en el siguiente enlace:

[http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/EstimacionSuperficies/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/EstimacionSuperficies/)

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales  
 AH- Asentamiento Humano  
 H- Humedales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 OT- Otras Tierras  
 P- Praderas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
 SieTem - Sierras Templadas  
 TA- Tierras Agrícolas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 27.** Incertidumbre de la superficie anual estimada de las categorías IPCC por ecorregión en el periodo 2000 – 2016

Ecorregión	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-AH	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
CalMed-H	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
CalMed-OT	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
CalMed-P	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	63	63	60	60	60
CalMed-TA	95	95	95	95	95	95	89	89	89	89	89	89	89	89	89	83	83
CalMed-TF	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
DesAN-AH	72	72	72	72	72	72	72	69	69	69	69	67	67	67	67	67	66
DesAN-H	48	48	48	48	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
DesAN-OT	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
DesAN-P	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
DesAN-TA	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19
DesAN-TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
ElevSM-AH	76	76	76	76	76	76	70	63	63	60	60	60	57	57	57	57	57
ElevSM-H	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104
ElevSM-OT	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	86	86	79
ElevSM-P	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
ElevSM-TA	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
ElevSM-TF	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
GraPla-AH	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	79	79	79	76	76	76
GraPla-H	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
GraPla-OT	0	0	0	0	0	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
GraPla-P	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
GraPla-TA	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	27	27	27
GraPla-TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7
SCH-AH	57	57	57	56	56	56	56	56	56	53	51	51	51	50	48	48	48
SCH-H	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31

**Cuadro 27.** (Continuación) Incertidumbre de la superficie anual estimada de las categorías IPCC por ecorregión en el periodo 2000 – 2016

Ecorregión	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SCH-OT	65	65	65	65	65	65	64	64	64	64	64	64	64	63	63	63	60
SCH-P	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
SCH-TA	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	18	18	18	17	17	17	16
SCH-TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SCS-AH	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	49	49	49	48	47
SCS-H	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
SCS-OT	75	75	75	75	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	72	72	72
SCS-P	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SCS-TA	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
SCS-TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SieTem-AH	38	38	38	38	38	38	38	38	38	37	37	37	37	37	37	37	37
SieTem-H	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
SieTem-OT	51	51	51	51	51	50	50	50	50	50	50	50	49	48	48	48	48
SieTem-P	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
SieTem-TA	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
SieTem-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

NOTA: La base de datos total que contiene el desglose por equidistancia de muestreo (ResumenSuperficie\_anual\_00\_16\_Ecorregion.xls) se encuentra disponible en el siguiente enlace:

[http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/EstimacionSuperficies/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/EstimacionSuperficies/)

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales  
 AH- Asentamiento Humano  
 H- Humedales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 OT- Otras Tierras  
 P- Praderas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
 SieTem – Sierras Templadas  
 TA- Tierras Agrícolas  
 TF- Tierras Forestales

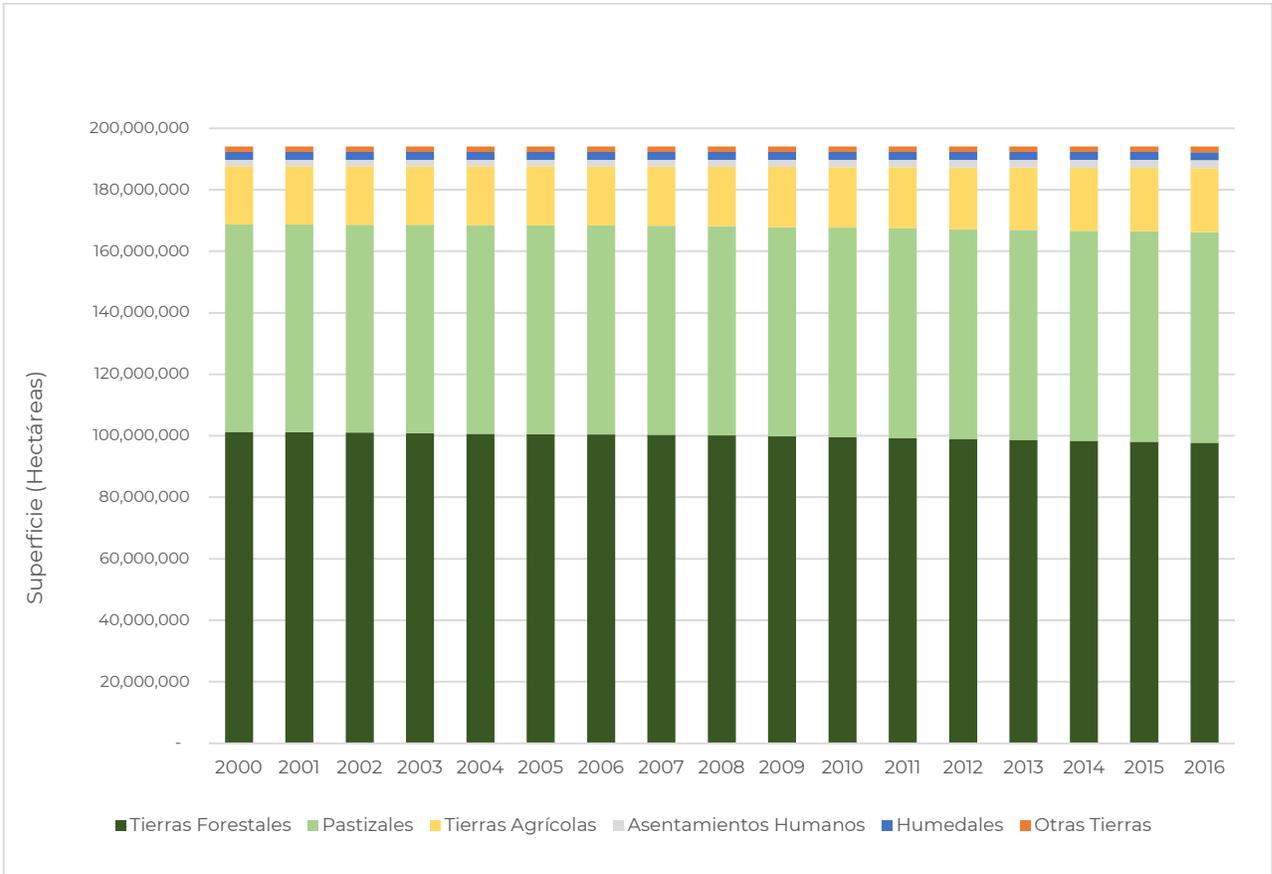


Figura 22. Superficie anual estimada de las 6 categorías IPCC en el periodo 2000 – 2016.

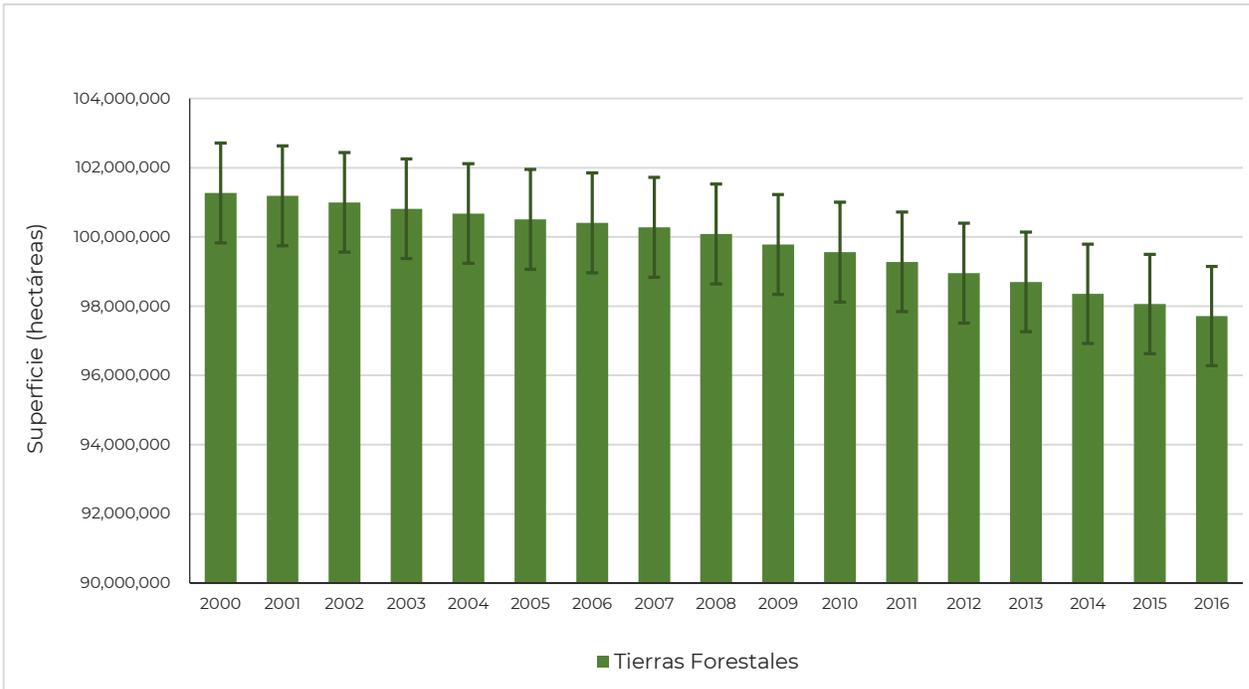
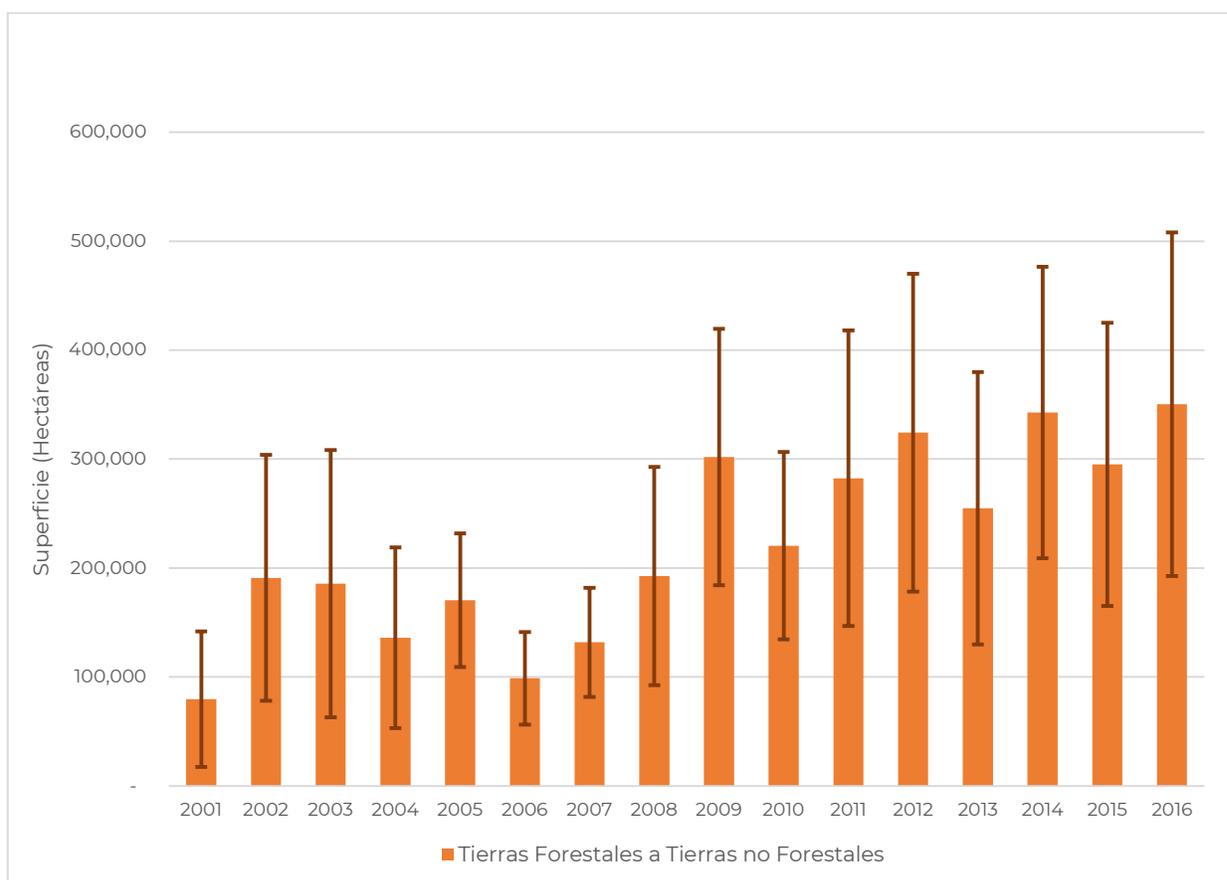


Figura 23. Superficie anual de Permanencia de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de las superficies de deforestación bruta y de degradación forestal absoluta de 2000 a 2016. Se hace énfasis en que estas gráficas se presentan como resultados intermedios del proceso de estimación del NREF, pero dichas superficies no fueron utilizadas para el cálculo de las emisiones de GEI.

La deforestación bruta muestra una tendencia creciente durante el periodo de análisis: el valor máximo (350,298 ha) ocurrió en 2016, seguido de los valores de 2014 y 2012 (**Figura 24**). Este comportamiento es consistente con la tendencia de la deforestación bruta estimada en el INEGyCEI-USCUSS 1990-2015 de la 6ª CN (INECC-SEMARNAT, 2018b).

En el **Cuadro 28** se muestran las superficies de deforestación bruta por cada ecorregión y equidistancia en el periodo de análisis. Las mayores superficies de deforestación bruta se presentan en los sub-estratos de la ecorregión Selvas Cálido-Húmedas y en los sub-estratos de la ecorregión Selvas Cálido-Secas.



**Figura 24.** Superficie anual de deforestación bruta en el periodo 2001 - 2016

Se considera que las causas subyacentes de las tasas de deforestación incrementadas en el periodo de referencia son similares a las indicadas en la sección 2.5. De manera adicional, las principales causas subyacentes de la deforestación identificadas en los dos últimos Programas Nacionales Forestales, en la Estrategia Nacional REDD+ y en el ERPD del FCPF-CF pueden resumirse como sigue: (i) falta de competitividad de las actividades forestales sustentables, (ii) falta de organización comunitaria/capital social débil, (iii) escasez de instrumentos de planificación para alinear las inversiones y políticas públicas, (iv) los incentivos económicos para las actividades de producción no tienen en cuenta elementos de sustentabilidad, (v) falta de capacidad institucional para hacer cumplir la ley, (vi) altos precios de productos básicos (el mercado de productos básicos incentiva los cambios de uso del suelo), (vii) falta de capacidades técnicas locales para asesoría y evaluación técnica, y (viii) pobreza y marginación. Es importante resaltar dos cosas: (a) estas causas varían en

tamaño, en actores involucrados y en orden de importancia de acuerdo con la región del país en que se presentan, y (b) los diagnósticos de los tres documentos indicados no se limitan al periodo de referencia del presente NREF: normalmente también abarcan periodos anteriores.

La ENAREDD+ señala que la oferta de subsidios gubernamentales para actividades pecuarias, frutícolas o agro-energéticas (y que en general son más atractivos que los subsidios forestales) favorece la conversión productiva hacia usos no forestales. Es altamente probable que el incremento constante de la deforestación bruta en el periodo de referencia esté relacionado con el incremento sostenido del presupuesto federal asignado al sector agropecuario (a través del Ministerio de Agricultura -SAGARPA), el cual es decenas de veces mayor que el presupuesto asignado al sector forestal. De 2007 a 2016, el presupuesto de la SAGARPA creció en un 40% (SAGARPA, 2018).

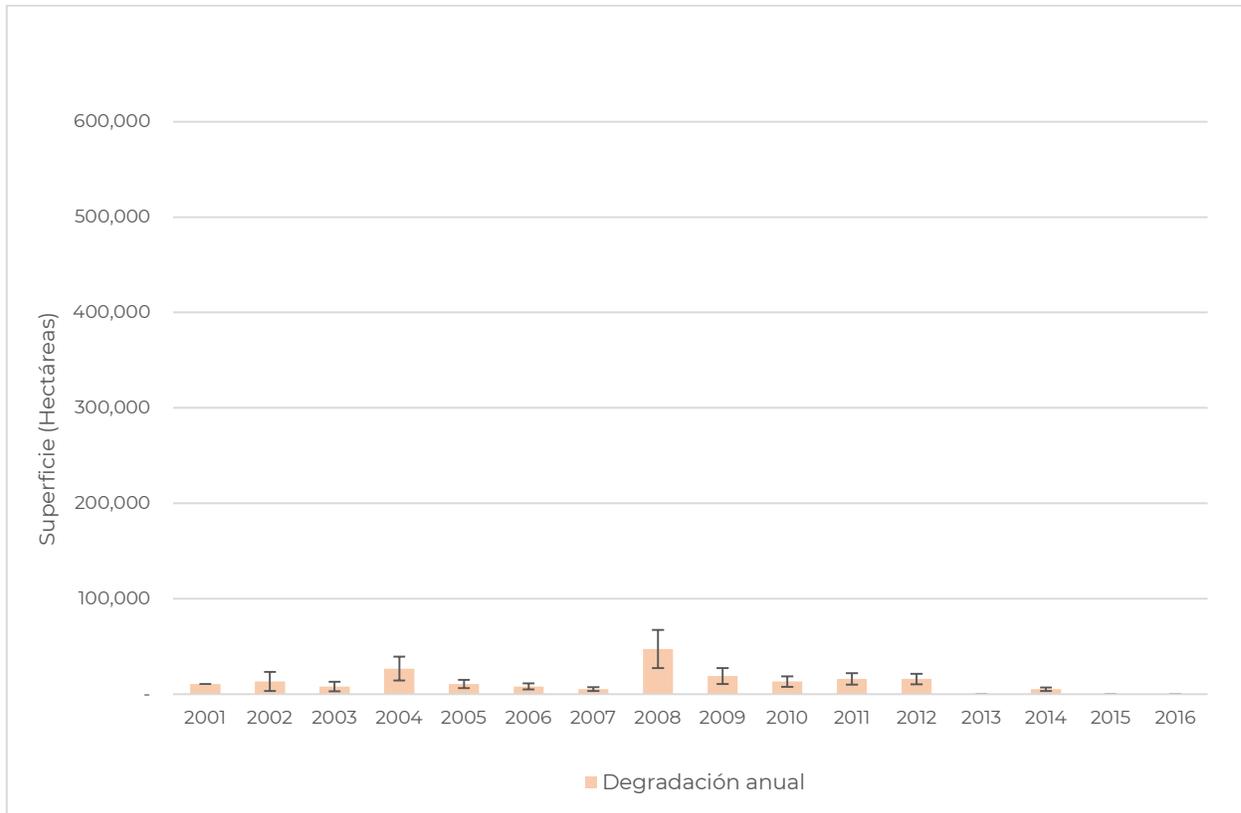
También es muy probable que el comportamiento de la deforestación de 2007 a 2016 esté vinculado con el comportamiento de los mercados de productos agropecuarios y los créditos para fomentar su producción, particularmente para la producción agrícola comercial e industrial, en el mismo periodo. Estudios recientes muestran que este tipo de agricultura es un importante driver de la deforestación en México: Ellis *et al.* (2015) encontraron que la expansión ganadera, la agricultura mecanizada para maíz, sorgo y soya, y las plantaciones de aceite de palma son drivers en importantes hotspots de deforestación en la península de Yucatán; Portillo-Quintero y Smith (2018) indican que la deforestación en Guerrero y Oaxaca es causada por plantaciones de palma de aceite y ganadería extensiva a gran escala, mientras que en la península de Yucatán se atribuyen grandes parches de deforestación a actores comerciales; Ellis *et al.* (2017) encontraron que en la península de Yucatán la deforestación no se debe a la agricultura de subsistencia sino a la ganadería a gran escala. CONAFOR (2017b) encontró estos mismos drivers, además de otros resultados relevantes como las plantaciones de agave y aguacate a gran escala en el estado de Jalisco.

No se identifican estudios sobre las causas subyacentes de la deforestación que cubran todo el país, y que al mismo tiempo aborden las particularidades biofísicas, socioeconómicas y culturales de cada región. La mayoría de ellos son de escala local a regional, abarcan periodos variables y tomaron como insumos a los mapas de cobertura del INEGI. En el NREF ya se han abordado las limitaciones de estos mapas para estudiar la deforestación en el país, por lo que dichos estudios podrían contener elementos de sesgo en sus resultados. Además de los factores subyacentes arriba mencionados, estos estudios identifican al crecimiento demográfico y el desarrollo turístico como promoventes de los cambios de uso del suelo para la construcción de nueva infraestructura.

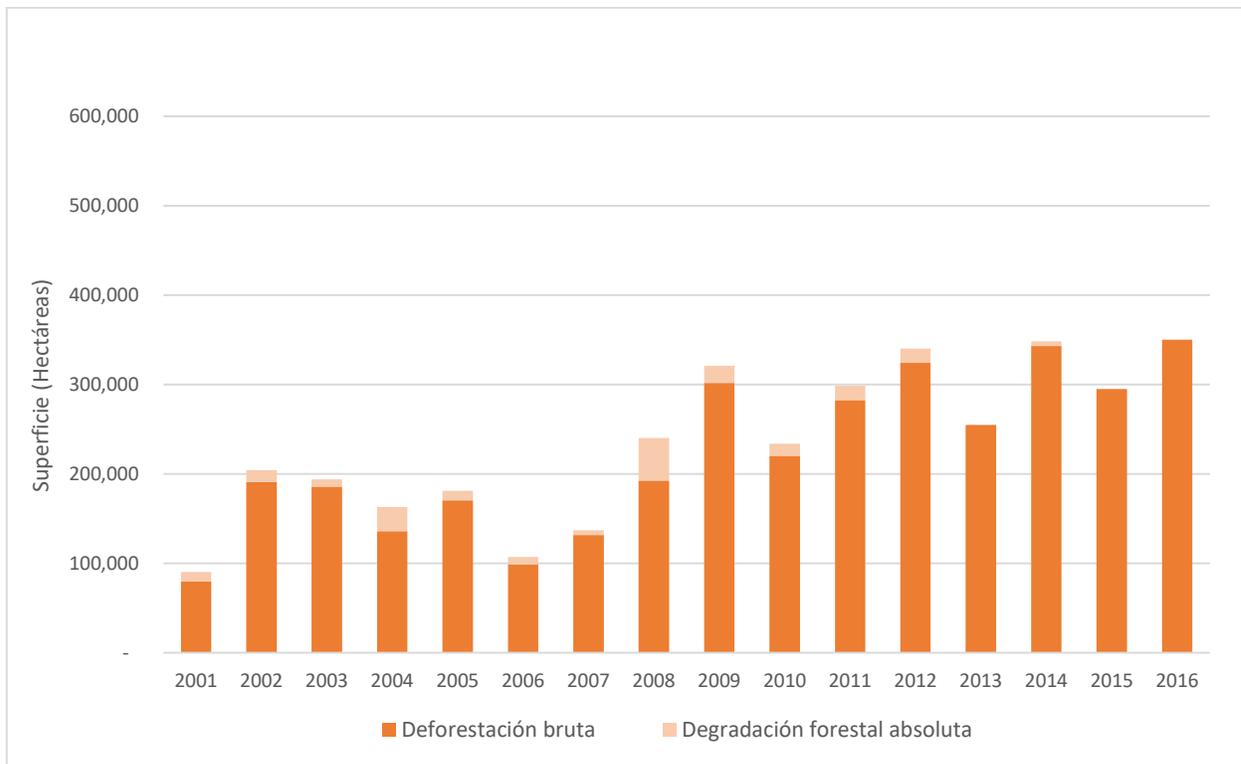
La superficie anual de degradación forestal absoluta no muestra una tendencia clara durante el periodo de análisis (**Figura 25**). El valor máximo (47,537.89 ha) ocurrió en el año 2008. Los valores de la degradación forestal absoluta son menores que los reportados para degradación forestal en la 6ª CN, lo que puede explicarse por el hecho de que el tipo de degradación considerada en este NREF es un subconjunto propio de la degradación forestal (ver **Figura 10**).

En el **Cuadro 29** se muestran las superficies anuales de degradación forestal absoluta por ecorregión y equidistancia. Los sub-estratos que presentan degradación forestal absoluta se encuentran en las ecorregiones Selvas Cálido-Húmedas, Selvas Cálido-Secas y Sierras Templadas.

En la **Figura 26** se muestran las superficies anuales de deforestación bruta y de degradación forestal absoluta de manera conjunta. Dado que la mayor aportación corresponde a la deforestación bruta, la tendencia de la gráfica es la misma que la de esta actividad. El valor máximo (350,298 ha) corresponde al año 2016, seguido de los valores para 2014 (348,286 ha) y 2012 (340,229 ha).

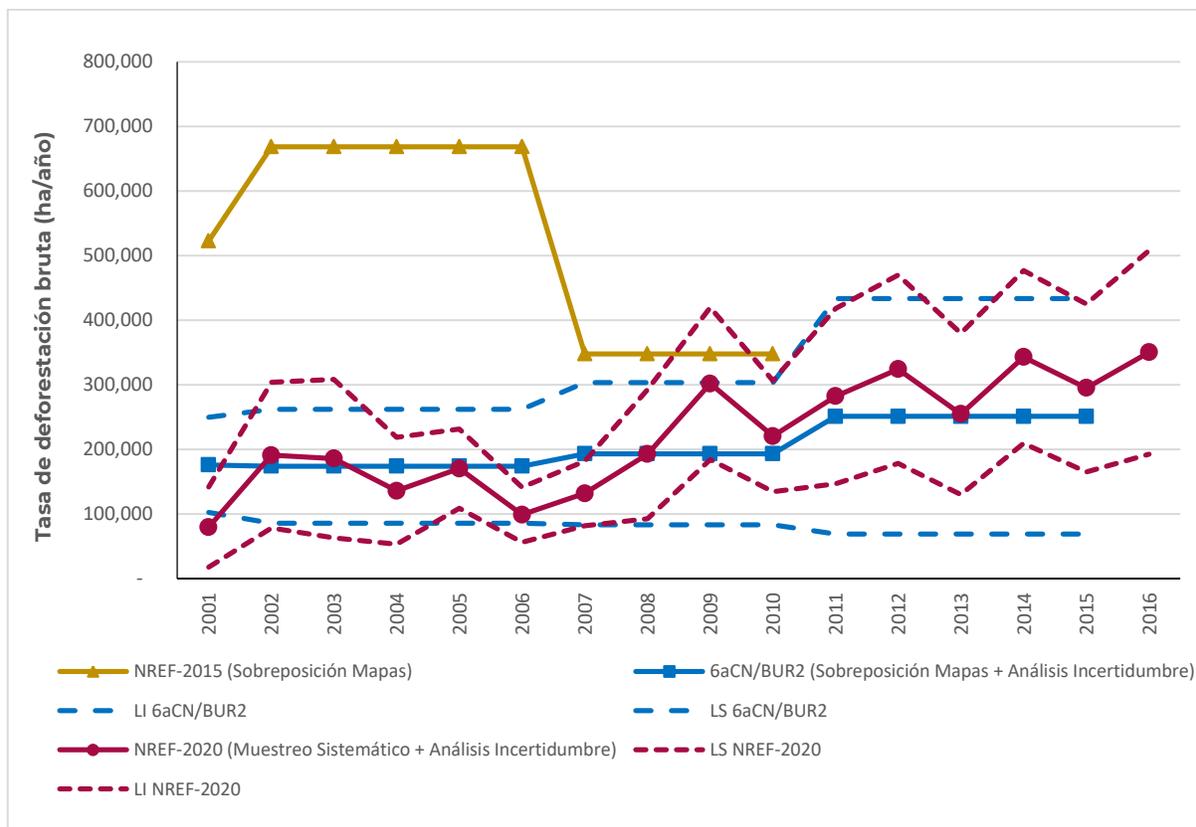


**Figura 25.** Superficie anual de degradación forestal absoluta en el periodo 2001 - 2016



**Figura 26.** Superficie anual de deforestación bruta y degradación forestal absoluta en el periodo 2001 – 2016

A continuación, en la **Figura 27** se muestra una comparación de los datos de deforestación bruta obtenidos en el presente NREF, en el NREF sometido en 2015 (CONAFOR, 2015) y en el INEGyCEI-USCUSS de la 6ª CN/BUR2 (INECC-SEMARNAT, 2018b). Un resultado notable es que las superficies anuales de deforestación bruta de la 6ª CN/BUR2 son próximas a los resultados obtenidos en el presente NREF, tanto en orden de magnitud como en la tendencia mostrada. Esto es relevante si se toma en cuenta que ambos reportes usaron métodos e insumos diferentes para generar los DA. También es importante resaltar que los datos de deforestación del INEGyCEI-USCUSS se presentan como datos anualizados para los periodos 2001, 2002-2006, 2007-2010 y 2011-2015, mientras que los datos del presente NREF tienen una variación interanual. Si se obtuvieran promedios con los datos del presente NREF para los periodos mencionados, entonces la similitud de las gráficas correspondientes a la 6ª CN/BUR2 y al presente NREF serían aún más similares.



**Figura 27.** Comparación de datos de deforestación bruta obtenidos en el presente NREF, el INEGyCEI-USCUSS 6ª CN/BUR2 y el NREF 2015

Los DA del NREF 2015 difieren considerablemente de los datos de deforestación bruta del presente NREF debido principalmente a los importantes sesgos generados con el método de producción de DA utilizado en el NREF anterior. En la sección 3.1. se indica que dicho método consistió en la simple sobreposición de mapas de tipos de vegetación y uso de suelo para diferentes periodos, pero no incluyó la estimación de DA insesgados y sus respectivas incertidumbres. Estos mapas fueron diseñados principalmente para conocer el estado de la vegetación en el país en sus respectivos años base, por lo que tienen un uso limitado para el monitoreo de los cambios de la superficie forestal del país. Es importante señalar que dichos mapas eran el único insumo con el que contaba el país para generar los DA para el NREF anterior.

Por su parte, en el INEGyCEI-USCUSS 6ªCN/BUR2 (INECC-SEMARNAT, 2018b), los DA se obtuvieron con la metodología de sobreposición de los mapas de tipos de vegetación y uso de suelo (incluyendo los mapas usados en el NREF 2015) y realizando un análisis de exactitud temática siguiendo a Oloffson *et al.* (2013 y 2014) para generar datos insesgados. Como resultado de este

análisis, se identificó que alrededor del 50% de los cambios generados con la simple sobreposición fueron falsos positivos, por lo que los valores de los DA insesgados fueron considerablemente menores a los DA obtenidos en el NREF 2015. Por ejemplo, para el periodo 2002-2010, los valores de deforestación bruta del NREF-2015 fluctuaron entre 675,577 y 355,988 ha/año, mientras que los datos insesgados de deforestación bruta de la 6ªCN/BUR2 tuvieron valores de entre 173,935 y 193,317 ha/año para el mismo periodo.

Los insumos cartográficos para generar los DA del NREF 2015 (mapas de tipos de vegetación y uso del suelo del INEGI) tienen una UMM de 50 ha y cada uno de ellos fue elaborado de forma independiente. Algunos de estos mapas presentan diferencias en cuanto a las imágenes satelitales utilizadas (Landsat y SPOT, por ejemplo) para su elaboración. De manera específica, las razones técnicas que provocaron una alta proporción de falsos cambios (y por tanto una sobreestimación de la deforestación) usando la metodología del NREF 2015 fueron:

- (i). Errores sistemáticos en la clasificación de un tipo de vegetación o uso de suelo (debido a la extensa UMM, a la manera independiente en que fueron elaborados los mapas de cobertura y a la escala de fotointerpretación), así como su correspondiente multiplicación al sobreponer los mapas de coberturas.
- (ii). El trazado de los límites de los polígonos de un tipo de vegetación o uso de suelo puede variar por la resolución de la imagen satelital usada como insumo para generar los mapas de cobertura (p. ej. en el mapa de 2007 se usaron imágenes SPOT de 10 m de resolución, mientras que en el resto de los mapas fueron usadas imágenes Landsat con 30 m de resolución). La combinación de mapas cuyos límites de polígonos tiene diferente trazado, conllevaron a errores sistemáticos.

Los resultados del análisis de incertidumbre del INEGyCEI-Tierra de la 6ªCN/BUR2 muestran que el efecto de los falsos positivos fue la principal causa de la sobreestimación de los DA del NREF-2015.

En el presente NREF, el uso de una UMM de 1 ha permitió capturar áreas más pequeñas de bosque y apegarse a la definición legal del país. Por otro lado, el uso del enfoque de muestreo (y la clasificación de bosque mediante interpretación visual aumentada) con métodos comparables espacial y temporalmente, tuvo un alto impacto en la prevención del sesgo asociado a la sobreestimación de la deforestación derivado de la contabilidad de falsos positivos. Por ello, las estimaciones de deforestación bruta de este nuevo NREF son considerablemente menos sesgadas que los DA del NREF 2015, no sólo a causa de una UMM menor, sino por toda la metodología mejorada para estimar la dinámica de la cobertura forestal de México.

Además, bajo el enfoque de muestreo, también fue posible cuantificar las incertidumbres de los DA y reducirlas mediante el uso de tamaños de muestra estadísticamente significativos a nivel nacional. Como puede observarse en la **Figura 27**. Comparación de datos de deforestación bruta obtenidos en el presente NREF, el INEGyCEI-USCUSS 6ª CN/BUR2 y el NREF 2015, las incertidumbres de los datos de deforestación bruta del presente NREF son menores que las incertidumbres estimadas en la 6ªCN/BUR2, con la ventaja de que la variabilidad es interanual en el caso del nuevo NREF. Las incertidumbres de los DA del NREF 2015 no fueron estimadas en dicho reporte.

**Cuadro 28.** Superficie anual deforestada por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 – 2016

Ecorregión-equidistancia		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed - 10 x 10 - TF	Superficie de TF	1,489,263	1,489,263	1,489,263	1,489,263	1,489,263	1,489,263	1,478,393	1,478,393	1,478,393	1,478,393	1,478,393	1,478,393	1,467,522	1,467,522	1,456,652	1,445,781	1,445,781
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	10,871	-	-	-	-	-	10,871	-	10,871	10,871	-
CalMed - 20 x 20 - TF	Superficie de TF	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419	473,419
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CalMed - 5 x 5 - TF	Superficie de TF	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	148,119	145,608	145,608	145,608
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,510	-	-
DesAN - 10 x 10 - TF	Superficie de TF	10,158,152	10,158,152	10,158,152	10,158,152	10,158,152	10,158,152	10,158,152	10,127,307	10,127,307	10,106,744	10,096,462	10,086,181	10,086,181	10,086,181	10,075,899	10,075,899	10,055,336
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	-	30,845	-	20,563	10,282	10,282	-	-	10,282	-	20,563
DesAN - 20 x 20 - TF	Superficie de TF	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785	2,076,785
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DesAN - 5 x 5 - TF	Superficie de TF	619,719	619,719	619,719	619,719	619,719	619,719	619,719	619,719	619,719	619,719	619,719	619,719	616,388	616,388	613,056	613,056	613,056
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,332	-	3,332	-	-
ElevSM - 10 x 10 - TF	Superficie de TF	1,038,355	1,038,355	1,038,355	1,038,355	1,038,355	1,017,794	1,017,794	1,017,794	1,017,794	1,007,513	1,007,513	1,007,513	1,007,513	1,007,513	986,952	976,671	976,671
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	20,561	-	-	-	10,281	-	-	-	-	20,561	10,281	-
ElevSM - 20 x 20 - TF	Superficie de TF	5,349,765	5,349,765	5,349,765	5,349,765	5,349,765	5,349,765	5,349,765	5,349,765	5,349,765	5,315,026	5,315,026	5,315,026	5,280,288	5,280,288	5,280,288	5,245,549	5,245,549
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,739	-	-	34,739	-	-	34,739	-
ElevSM - 5 x 5 - TF	Superficie de TF	2,366,987	2,366,987	2,366,987	2,366,987	2,366,987	2,366,987	2,364,097	2,364,097	2,364,097	2,364,097	2,361,207	2,361,207	2,361,207	2,361,207	2,355,427	2,355,427	2,352,537
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	2,890	-	-	-	2,890	-	-	-	5,780	-	2,890
GraPla - 10 x 10 - TF	Superficie de TF	4,740,368	4,740,368	4,730,151	4,730,151	4,730,151	4,719,935	4,719,935	4,719,935	4,709,719	4,699,502	4,679,070	4,679,070	4,668,853	4,668,853	4,668,853	4,648,421	4,648,421
	Superficie deforestada	-	-	10,216	-	-	10,216	-	-	10,216	10,216	20,433	-	10,216	-	-	20,433	-
GraPla - 20 x 20 - TF	Superficie de TF	1,710,347	1,710,347	1,710,347	1,674,715	1,674,715	1,674,715	1,674,715	1,674,715	1,674,715	1,674,715	1,674,715	1,603,450	1,603,450	1,567,818	1,567,818	1,567,818	1,567,818
	Superficie deforestada	-	-	-	35,632	-	-	-	-	-	-	-	71,264	-	35,632	-	-	-

**Cuadro 28.** (Continuación) Superficie anual deforestada por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 – 2016

Ecorregión- equidistancia		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
GraPla - 5 x 5 - TF	Superficie de TF	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986	148,986
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SCH - 10 x 10 - TF	Superficie de TF	1,301,792	1,294,639	1,294,639	1,294,639	1,287,486	1,287,486	1,287,486	1,287,486	1,280,334	1,273,181	1,266,028	1,266,028	1,266,028	1,266,028	1,258,875	1,244,570	1,230,265
	Superficie deforestada	-	7,153	-	-	7,153	-	-	-	7,153	7,153	7,153	-	-	-	7,153	14,305	14,305
SCH - 20 x 20 - TF	Superficie de TF	2,854,116	2,827,931	2,775,562	2,749,378	2,697,009	2,697,009	2,697,009	2,697,009	2,670,824	2,618,455	2,592,270	2,592,270	2,566,086	2,539,901	2,513,717	2,487,532	2,382,794
	Superficie deforestada	-	26,185	52,369	26,185	52,369	-	-	-	26,185	52,369	26,185	-	26,185	26,185	26,185	26,185	104,738
SCH - 5 x 5 - TF	Superficie de TF	11,862,597	11,854,517	11,822,193	11,795,257	11,752,160	11,706,369	11,655,190	11,585,157	11,512,430	11,412,767	11,345,427	11,294,249	11,226,909	11,159,569	11,078,761	11,019,502	10,960,243
	Superficie deforestada	-	8,081	32,323	26,936	43,098	45,791	51,178	70,034	72,727	99,663	67,340	51,178	67,340	67,340	80,808	59,259	59,259
SCS - 10 x 10 - TF	Superficie de TF	13,719,444	13,699,632	13,669,915	13,620,386	13,600,575	13,570,858	13,560,952	13,551,046	13,541,140	13,521,329	13,461,894	13,422,272	13,402,460	13,362,837	13,333,120	13,293,497	13,263,780
	Superficie deforestada	-	19,811	29,717	49,529	19,811	29,717	9,906	9,906	9,906	19,811	59,434	39,623	19,811	39,623	29,717	39,623	29,717
SCS - 20 x 20 - TF	Superficie de TF	3,930,076	3,930,076	3,893,000	3,855,924	3,855,924	3,855,924	3,855,924	3,855,924	3,818,847	3,818,847	3,818,847	3,781,771	3,744,695	3,707,619	3,633,466	3,596,390	3,522,238
	Superficie deforestada	-	-	37,076	37,076	-	-	-	-	37,076	-	-	37,076	37,076	37,076	37,076	74,152	37,076
SCS - 5 x 5 - TF	Superficie de TF	3,592,677	3,589,810	3,581,208	3,581,208	3,575,474	3,569,739	3,569,739	3,566,872	3,558,270	3,555,403	3,546,801	3,529,598	3,523,863	3,506,659	3,498,058	3,489,456	3,483,721
	Superficie deforestada	-	2,867	8,602	-	5,735	5,735	-	2,867	8,602	2,867	8,602	17,204	5,735	17,204	8,602	8,602	5,735
SieTem - 10 x 10 - TF	Superficie de TF	2,900,960	2,900,960	2,900,960	2,900,960	2,900,960	2,884,094	2,875,661	2,875,661	2,875,661	2,875,661	2,875,661	2,858,795	2,850,362	2,841,929	2,833,496	2,833,496	2,833,496
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	16,866	8,433	-	-	-	-	16,866	8,433	8,433	8,433	-	-
SieTem - 20 x 20 - TF	Superficie de TF	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,709,011	4,652,616	4,652,616	4,652,616	4,652,616	4,652,616
	Superficie deforestada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56,395	-	-	-	-
SieTem - 5 x 5 - TF	Superficie de TF	26,078,233	26,062,657	26,041,890	26,031,507	26,023,719	25,982,185	25,966,610	25,948,439	25,927,672	25,883,542	25,865,370	25,826,432	25,782,302	25,758,939	25,704,426	25,670,679	25,631,741
	Superficie deforestada	-	15,575	20,767	10,384	7,788	41,534	15,575	18,171	20,767	44,130	18,171	38,938	44,130	23,363	54,514	33,746	38,938
<b>Total de superficie anual de TF</b>		<b>101,269,170</b>	<b>101,189,498</b>	<b>100,998,427</b>	<b>100,812,686</b>	<b>100,676,733</b>	<b>100,506,312</b>	<b>100,407,459</b>	<b>100,275,637</b>	<b>100,083,005</b>	<b>99,781,213</b>	<b>99,560,724</b>	<b>99,278,293</b>	<b>98,954,030</b>	<b>98,699,175</b>	<b>98,356,276</b>	<b>98,061,157</b>	<b>97,710,859</b>
<b>Total de superficie anual deforestada</b>		<b>-</b>	<b>79,672</b>	<b>191,071</b>	<b>185,741</b>	<b>135,953</b>	<b>170,421</b>	<b>98,853</b>	<b>131,822</b>	<b>192,631</b>	<b>301,792</b>	<b>220,489</b>	<b>282,431</b>	<b>324,262</b>	<b>254,855</b>	<b>342,899</b>	<b>295,119</b>	<b>350,298</b>

**Cuadro 29.** Superficie anual degradada por ecorregión y equidistancia en el periodo 2000 – 2016

Ecorregión- equidistancia		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SCH - 20 x 20 - TF	Superficie de TF	2,854,116	2,827,931	2,775,562	2,749,378	2,697,009	2,697,009	2,697,009	2,697,009	2,670,824	2,618,455	2,592,270	2,592,270	2,566,086	2,539,901	2,513,717	2,487,532	2,382,794
	Superficie degradada	-	-	-	-	-	-	-	-	26,185	-	-	-	-	-	-	-	-
SCH - 5 x 5 - TF	Superficie anual TF	11,862,597	11,854,517	11,822,193	11,795,257	11,752,160	11,706,369	11,655,190	11,585,157	11,512,430	11,412,767	11,345,427	11,294,249	11,226,909	11,159,569	11,078,761	11,019,502	10,960,243
	Superficie degradada	-	8,081	8,081	8,081	18,855	8,081	5,387	5,387	16,162	16,162	8,081	5,387	10,774	-	5,387	-	-
SCS - 5 x 5 - TF	Superficie anual TF	3,592,677	3,589,810	3,581,208	3,581,208	3,575,474	3,569,739	3,569,739	3,566,872	3,558,270	3,555,403	3,546,801	3,529,598	3,523,863	3,506,659	3,498,058	3,489,456	3,483,721
	Superficie degradada	-	-	-	-	2,867	-	2,867	-	-	2,867	-	2,867	-	-	-	-	-
SieTem - 5 x 5 - TF	Superficie anual TF	26,078,233	26,062,657	26,041,890	26,031,507	26,023,719	25,982,185	25,966,610	25,948,439	25,927,672	25,883,542	25,865,370	25,826,432	25,782,302	25,758,939	25,704,426	25,670,679	25,631,741
	Superficie degradada	-	2,596	5,192	-	5,192	2,596	-	-	5,192	-	5,192	7,788	5,192	-	-	-	-
<b>Total de superficie anual de TF</b>		<b>44,387,623</b>	<b>44,334,915</b>	<b>44,220,854</b>	<b>44,157,350</b>	<b>44,048,361</b>	<b>43,955,302</b>	<b>43,888,548</b>	<b>43,797,476</b>	<b>43,669,196</b>	<b>43,470,166</b>	<b>43,349,869</b>	<b>43,242,549</b>	<b>43,099,160</b>	<b>42,965,069</b>	<b>42,794,961</b>	<b>42,667,169</b>	<b>42,458,499</b>
<b>Total de superficie anual deforestada</b>		<b>-</b>	<b>10,677</b>	<b>13,273</b>	<b>8,081</b>	<b>26,914</b>	<b>10,677</b>	<b>8,254</b>	<b>5,387</b>	<b>47,538</b>	<b>19,029</b>	<b>13,273</b>	<b>16,042</b>	<b>15,966</b>	<b>-</b>	<b>5,387</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

## **9. EXISTENCIAS DE CARBONO EN LAS TIERRAS FORESTALES DE MÉXICO**

Como se mencionó en la sección 7, las emisiones reportadas en el presente NREF se obtuvieron a partir de la diferencia entre las “**existencias anuales totales de carbono a nivel nacional**”, lo cual requirió de la estimación de las “**existencias de carbono de cada uno de los reservorios para cada año del periodo de análisis 2000-2016**”.

En el presente capítulo se aborda la metodología para la estimación de las **existencias anuales totales de carbono a nivel nacional**. Los reservorios de carbono considerados fueron biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS), madera muerta (MM), mantillo (M) y carbono orgánico en suelos (COS).

En la sección 9.1 se describe la metodología de estimación de las existencias anuales totales de carbono a nivel nacional. Primeramente, se describe el proceso de estimación de los contenidos de carbono por unidad de área con base en la información prioritariamente del INFyS (sección 9.1.1). Posteriormente se describe el procedimiento y los criterios utilizados para la integración de las Matrices de Contenidos de Carbono para cada reservorio a partir de la información de los contenidos de carbono por CGL y la información de la Matriz Multitemporal con **Categorías IPCC** (sección 9.1.2). Finalmente, en la sección 9.1.3 se aborda el proceso de estimación de las existencias anuales totales de carbono a nivel nacional con base en las existencias de carbono de cada uno de los reservorios para cada año del periodo de análisis 2000-2016.

En la sección 9.2 se muestran los resultados de las existencias anuales totales de carbono a nivel nacional, con énfasis en las Tierras Forestales de México.

### **9.1. Proceso metodológico de estimación de las existencias anuales totales de carbono**

#### **9.1.1. Estimación del contenido de carbono en cada reservorio por unidad de área**

En esta sección se detalla el proceso de estimación del contenido de carbono por ha de cada uno de los reservorios BA, BS, MM, mantillo y COS. Estas estimaciones se basan prioritariamente en el nivel de conglomerado del INFyS, por consiguiente, en las subsecciones posteriores se menciona con frecuencia al contenido de carbono por CGL. A continuación, se describen los insumos y métodos del proceso de estimación del carbono de cada reservorio.

##### **9.1.1.1. Biomasa Aérea**

###### **9.1.1.1.1. Definición del Carbono de la Biomasa Aérea**

La Biomasa Aérea está constituida por la vegetación viva, tanto leñosa que se halla por encima del suelo, incluidas todas las partes del individuo (tallos o tronco, ramas, corteza, semillas y follaje). Con base en los datos del INFyS, la BA corresponde a todos aquellos individuos cuyas ramas o tallos leñosos son iguales o mayores a 7.5 cm de diámetro normal (a 1.3 m de altura desde la base de individuo).

###### **9.1.1.1.2. Insumos empleados para la estimación del carbono de la Biomasa Aérea**

El principal insumo utilizado para estimar el carbono de la BA, BS, MM y mantillo fue la información dasométrica y florística del INFyS (CONAFOR, 2012; 2018), el cual también aporta parcialmente información del COS. Además del INFyS, también se emplearon los insumos complementarios y espaciales que se enlistan a continuación:

##### *Insumos complementarios*

- Catálogo de nombres de plantas del INFyS

- Base de datos de modelos alométricos de biomasa
- Valores de densidad de la madera
- Fracciones de carbono

*Insumos espaciales*

- Series de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI
- Ecorregiones de México

**Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) (Insumo principal)**

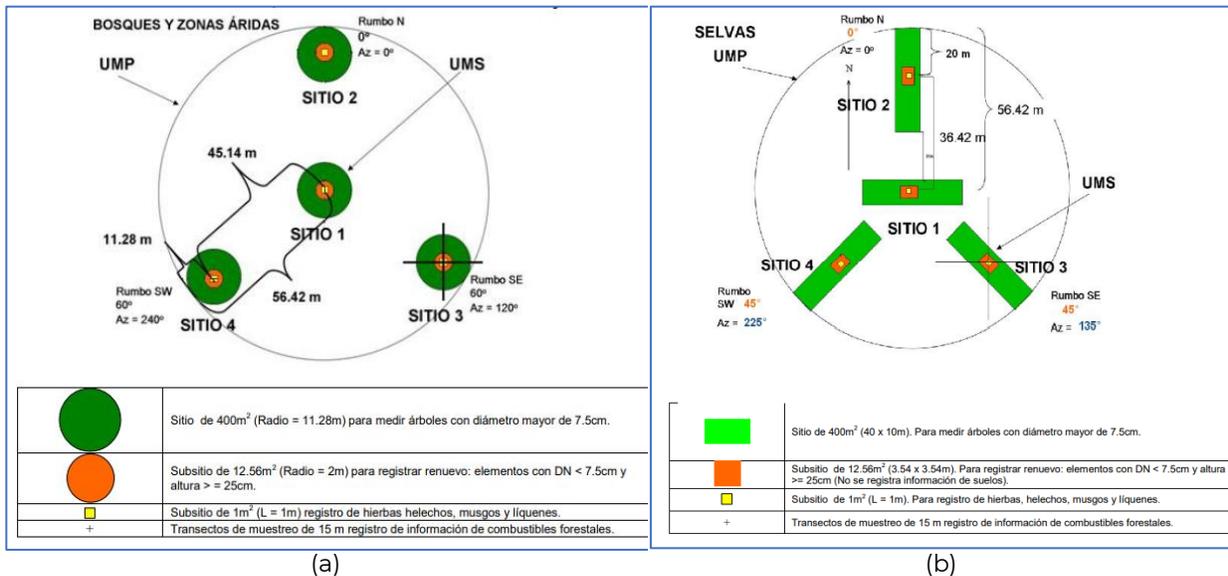
El INFyS es un instrumento que fue diseñado con el objetivo de proveer información cartográfica y estadística de los ecosistemas forestales y suelos del país con elementos estadísticos que permiten estimar su confiabilidad para apoyar la política nacional de desarrollo forestal sustentable e impulsar las actividades del sector (SEMARNAT *et al.*, 2004). Entre sus objetivos principales se destaca el cuantificar quinquenalmente los recursos forestales del país.

**a) El diseño muestral del INFyS**

Como se mencionó en las secciones 7 y 8, el INFyS emplea un muestreo sistemático estratificado en dos etapas, compuesto por conglomerados (*plots*) o Unidades de Muestreo Primarias (UMP). Las UMP tienen un diseño de forma circular y una superficie de 10,000 m<sup>2</sup> (1 ha). Cada UMP cuenta con cuatro sitios (*subplots*) o Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) con una superficie de 400 m<sup>2</sup> cada una, dispuestos en forma de “Y” invertida (CONAFOR 2012, 2018). La información dasométrica utilizada para la estimación del carbono de la BA, BS, MM y mantillo fue colectada dentro de las UMS de cada UMP.

Las equidistancias entre los CGL del INFyS son de 5x5 km, 10x10km y 20x20km según los grupos principales de vegetación como se describe en las secciones 7 y 8.

Para el caso particular de la información de la BA, tanto en el muestreo como en el remuestreo del INFyS, la información de los registros leñosos mayores a 7.5 cm fue colectada en los sitios (o UMS) de 400 m<sup>2</sup> que conforman los CGL del inventario forestal (**Figura 28**).



**Figura 28.** Forma de los conglomerados del INFyS en (a) bosques templados, comunidades áridas, comunidades semiáridas y palmares y, (b) Selvas altas, medianas, bajas, peten, selva de galería, manglar, popal, tular y vegetación halófila-hidrófila

### **b) Ciclos de registro de información de campo del INFyS**

De acuerdo con la periodicidad de levantamientos de información de campo, el INFyS considera una etapa o ciclo de muestreo y subsiguientes etapas de remuestreo. Actualmente se dispone de dos ciclos de levantamiento de información de campo completos:

- Muestreo (2004-2007). Establecimiento de CGL en campo y primera medición del INFyS.
- Remuestreo (2009-2014). Segunda medición del INFyS.

El levantamiento de información del tercer ciclo del INFyS inició en 2015 y continúa en proceso debido a problemas presupuestales y de contingencia sanitaria.

El muestreo, remuestreo y tercer ciclo del INFyS han sido levantados: (i) sobre la misma malla de muestreo, (ii) sobre la misma ubicación de los CGL y (iii) empleando los mismos protocolos de levantamiento de la información en campo (<https://snigf.cnf.gob.mx/documentos-metodologicos>). Todo esto garantiza la completa consistencia y comparabilidad de los datos obtenidos en los tres ciclos del INFyS.

En el primer ciclo del INFyS (muestreo) se establecieron los conglomerados por primera vez y se realizó el primer registro de información de campo; este trabajo se centró en los años 2006 y 2007. En el 2do ciclo del INFyS (remuestreo) (2009-2014), las muestras fueron separadas de manera sistemática en el territorio nacional incluyendo un 20% cada año. En el año 2014 se enfocaron esfuerzos para la recuperación del tamaño de muestra para aquellos CGL inaccesibles acumulados durante los 5 años anteriores. Al final de 5 años se cubrió el total de la muestra (páneles). En el tercer ciclo (actualmente en proceso) se continuó con el registro del 20% anual.

En un proceso de mejora continua de todo el inventario forestal, la información colectada del INFyS se ha estado mejorando a lo largo de los años, en el primer y segundo ciclo se registró información dasométrica de los individuos leñosos vivos y muertos en pie con diámetro normal (1.3 m de altura) igual o mayor a 7.5 cm. En el segundo ciclo también se registró la madera muerta del material leñoso caído y de los tocones de manera consistente; se incluyó el registro y recolecta de mantillo para la capa de hojarasca y de fermentación, así como el registro y recolecta de suelos minerales de un porcentaje de CGL para la determinación de COS.

El registro del tipo de vegetación en el primer ciclo y parcialmente el segundo ciclo se basó en la información cartográfica disponible y no en la condición presente en campo. Los últimos años del segundo ciclo y todo el tercer ciclo el registro de la vegetación se basa en la condición en campo. La remediación de las variables, aunque se realiza en la misma superficie y diseño entre ciclos, la remediación de las variables dasométricas del segundo ciclo no se aseguraron sobre el mismo árbol del primer ciclo. Mientras que entre el primer y segundo ciclos no fue posible hacer el seguimiento árbol-árbol, en el tercer ciclo del INFyS ya es posible realizar este seguimiento.

Con las variables anteriores incluidas en el INFyS se cuenta con información para los 5 almacenes de biomasa para la cuantificación del carbono, en algunos casos con dos mediciones en el tiempo (biomasa aérea y muertos en pie) y en otros casos con una primera medición establecida a partir del remuestreo (tocones, material leñoso caído, mantillo y suelos).

### **c) Base de Datos del INFyS**

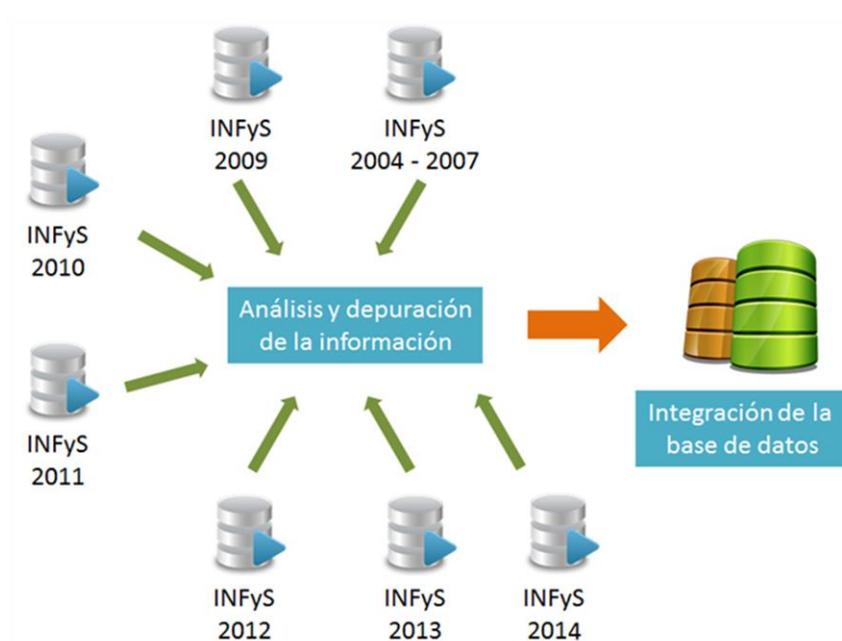
La información del INFyS recabada en campo fue integrada y almacenada en bases de datos (Access 2000) y transformada a una estructura de SQL Server.

Para la estandarización de las distintas bases de datos anuales del INFyS, se creó una base de datos integradora que permitió sistematizar la información de todos los ciclos del INFyS. Para la

sistematización de la información se evaluó la información contenida en las bases de datos y se realizó lo siguiente:

- ❖ Se estandarizaron los catálogos (claves diferentes, tablas con cambios en estructura y contenido) del INFyS.
- ❖ Se homogeneizaron los campos y tablas de las diferentes Bases de Datos.
- ❖ Se mejoró la consistencia temporal de la información.
- ❖ Se eliminó la ambigüedad en la información (campos binarios con diferentes significados entre BD).
- ❖ Se abordaron los problemas de compatibilidad entre mapas de caracteres de las bases de datos (*collation*).
- ❖ Se corrigieron las diferencias ortográficas entre catálogos.

Se desarrolló una base de datos integrada llamada Muestreo Nacional mediante la migración y normalización de las bases de datos origen (información separada por ciclo y año), la cual permite a) realizar estimaciones de las variables dasométricas y sus derivados con un enfoque multitemporal b) mantener los datos históricos de los distintos años y/o ciclos, así como c) contener la nueva información capturada (nuevos registros y modificación de los existentes), para asegurar una compatibilidad total de datos históricos y actuales (**Figura 29**).



**Figura 29.** Esquema de integración de bases de datos del INFyS

La información contenida en la base de datos integra 3 niveles de jerárquicos de información: CGL, sitios y observación. Las variables del INFyS incluidas en la base de datos Muestreo Nacional para fines de estimar la biomasa aérea fueron:

1. Nivel Conglomerado
  - Número de CGL
  - Ciclo de Muestreo
  - Año de Muestreo
  - Tipificación (Accesible/Inaccesible)
  - Coordenada geográfica del punto central del CGL
2. Nivel Sitio
  - Número de sitio

- Tipificación (Accesible/Inaccesible)
- Coordenadas geográficas
- Ecorregión
- Clase de Vegetación INEGI

### 3. Nivel Observación

- Condición (vivo, muerto en pie, tocón)
- Diámetro normal
- Altura total
- Nombre científico

La base de datos Nivel Conglomerado y Nivel Sitio esta disponible en el enlace en: [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono\\_MultitemporalClaseI\\_PCC/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono_MultitemporalClaseI_PCC/), y la base de datos Nivel Observación puede consultarse en en: [Estimacion\\_C\\_BA\\_BS\\_MP\\_Toc\\_ReMuestreo.csv](#) y [Estimacion\\_C\\_BA\\_BS\\_MP\\_Toc\\_Muestreo.csv](#).

Se realizó una revisión exhaustiva de la información INFyS a través de los años para asegurar resultados confiables y completos. Se estandarizaron los nombres de las tablas, catálogos y campos de las bases de datos del INFyS (homogenización de criterios para nombrar las variables y nombres de las tablas) y se depuró el contenido de los catálogos (corrección de nombre, sinónimos y unificación de catálogos y tablas).

Controles de calidad para las variables utilizadas para la estimación

Los procesos de estandarización para cada una de las variables utilizadas para la estimación de la Biomasa Aérea se describen enseguida:

#### 1. Nivel Conglomerado

- Numero de CGL. Se aseguró la completitud de los 26,220 CGL sin duplicados.
- Ciclo de Muestreo. Se asignó a cada CGL el ciclo de levantamiento de información de campo.
- Año de Muestreo. Se verificó que cada uno de los CGL contuviera el año de levantamiento de información de campo.
- Tipificación (Accesible/Inaccesible). Se verificó que cada CGL tuviera la etiqueta de muestreado o no muestreado, con el fin de asegurar correctamente los valores iguales o mayores a cero y lo valores NULL o sin dato, respectivamente.
- Coordenada geográfica del punto central del CGL. Se aseguró un mismo sistema de coordenadas y de proyección a los CGL.

#### 2. Nivel Sitio

- a. Número de sitio. Se aseguró que cada uno de los CGL contuviera sus 4 sitios de manera explícita, para un total 104,880 sitios en la base de datos.
- b. Tipificación (Accesible/Inaccesible). Se verificó que cada sitio tuviera el dato de muestreado o no muestreado, con el fin de asegurar correctamente los valores iguales o mayores a cero y lo valores NULL o sin dato respectivamente.
- c. Coordenadas geográficas. Se verificó que todos los sitios accesibles o muestreados tuvieran valores en un mismo sistema de coordenadas y proyección.
- d. Ecorregión. Se verificó que cada uno de los sitios estuviera identificado con la clase respectiva de Ecorregiones (INEGI-CONABIO-INE, 2008) en sus 4 niveles disponibles
- e. Clase de Vegetación INEGI. Se verificó que cada uno de los sitios fuera etiquetado adecuadamente con la clase respectiva de las clases de vegetación y uso de suelo del INEGI para todas sus series disponibles (Serie II, III, IV, V, V ajustada y VI).

#### 3. Nivel Observación

- Condición Vivo. Se aseguró que para la estimación del carbono en la biomasa viva se incluyeran únicamente las ramas y tallos registrados como vivos (asegurando que no incluir aquí los muertos en pie ni tocones).
- Diámetro normal estandarizado. Se verificó que todas las ramas y tallos tuvieran un diámetro normal mínimo y un diámetro normal máximo no mayor a 4.5 desviaciones estándar del promedio de la especie.
- Altura total estandarizada. Se verificó que todas las ramas y tallos poseyeran una altura total mínima de 1.3 y una altura máxima no mayor a 4.5 desviaciones estándar del promedio de la especie.
- Nombre científico depurado. Se aseguró que todas las ramas y tallos identificados contuvieran un nombre correctamente escrito y aceptado, de acuerdo con el Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Hongos y Plantas (2012). Aquellas ramas y tallos sin nombre fueron estandarizados como desconocidos y su estimación de biomasa y carbono se realizó por medio de ecuaciones generales y valores promedio por corrección de densidad de la madera y fracciones de carbono.

### ***Insumos Complementarios***

#### **a) Catálogo de nombres de plantas del INFyS**

La CONAFOR llevó a cabo un control de calidad sobre su catálogo de nombres de plantas, identificando y depurando errores de escritura, asignación de sinonimias y nombres aceptados para asegurar la asignación correcta de modelos alométricos de biomasa y/o carbono, densidades de la madera y fracciones de carbono a nivel de especie o género, ya sea a través de su nombre aceptado o sus sinonimias y así evitar errores y disminuir incertidumbres. Además de formalizar el catálogo de nombres al incluir la familia y niveles superiores de clasificación de acuerdo con el Sistema de APG 2016 (*Angiosperm Phylogeny Group*, por sus siglas en inglés).

Para la depuración e integración de catálogo de nombres de plantas, la CONAFOR empleó las siguientes fuentes:

- CONABIO (2011). Revisión del Catálogo de nombres del INFyS, versión 18 de noviembre de 2010. Incluye una base de datos de nombres científicos, con su linaje hasta nivel de familia. Incluye la detección de diversos tipos de errores (p. ej. tipográficos, ortográficos, sinonimias). El resultado de esta revisión consiste en un catálogo de nombres del INFyS y su equivalencia corregida (nombre aceptado). Esta versión incluye una revisión del Dr. José Luis Villaseñor, la cual considera un nombre conciliado entre las revisiones de CONABIO (2011) y Villaseñor (2004).
- CONABIO (2012). Catálogo de autoridades taxonómicas de la flora nativa de México. Bases de datos SNIB-CONABIO en México, D.F. Incluyó una revisión de nombres para la detección de diversos tipos de errores (p. ej. tipográficos, ortográficos, sinonimias). Incluyó una lista de nombres y su equivalencia (nombre aceptado), además de la distribución estatal aceptada. Esta versión tiene como insumo base a CONAFOR (2010) y CONABIO (2011).
- CONAFOR (no publicado). Es independiente de las versiones anteriores y fue elaborada por la Subgerencia de Análisis Forestal. Esta revisión originalmente fue elaborada para el INFyS 2004-2010. Se incluyó el nombre científico (idéntico al Catálogo del INFyS), el tipo de inconsistencia (p. ej. tipográficos, ortográficos, sinonimias), el nombre válido y en la mayoría la forma biológica.
- Villaseñor (2004). Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. Insumo para los sistemas de clasificación utilizados para el Catálogo de nombres de plantas del INFyS: helechos y afines (Mickel y Beitel, 1988 y Mickel, 1992), gimnospermas (McVaugh, 1992), monocotiledóneas (Dahlgren *et al.*, 1985) y dicotiledóneas (Cronquist, 1981).
- The plant list (<http://www.theplantlist.org/>)
- Taxonomic Standardization of Plant Species Names (Taxonstand), version 2.2 (2019) (<https://cran.r-project.org/web/packages/Taxonstand/Taxonstand.pdf>).

El catálogo de nombres de plantas se puede consultar en el siguiente enlace: [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono\\_MultitemporalClaseI\\_PCC](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono_MultitemporalClaseI_PCC)

**b) Base de datos de modelos alométricos de biomasa**

Para estimar la biomasa de los individuos se utilizaron modelos alométricos, los cuales permiten estimar el volumen, biomasa o carbono de un individuo en función de las dimensiones de sus componentes estructurales como el diámetro del tronco y/o la altura total, características dendrométricas más fáciles de medir.

Los modelos alométricos fueron obtenidos de recopilaciones bibliográficas existentes que formaron parte de consultorías desarrolladas en el marco del proyecto México-Noruega (2012-2016):

- Rojas-García (2009, 2015). Colecta y sistematización de la información de los metadatos de los modelos alométricos de biomasa usados en el protocolo para la estimación de carbono a nivel nacional de México.
- Méndez-González (2017). Revisión de metadatos de los modelos alométricos de biomasa usados para la estimación de carbono a nivel nacional de México.

La base de datos de modelos alométricos contiene alrededor de 350 modelos revisados y depurados para estimar biomasa aérea. En el **Cuadro 30** se muestran los principales modelos utilizados.

**Cuadro 30.** Referencia de principales modelos alométricos utilizados en la estimación de biomasa a nivel de observación

Especie-Género-Tipo de Vegetación	Modelo alométrico	Fuente
<i>Acacia cochliacantha</i>	$(0.0841*d130^{2.41})$	Návar, 2009a
<i>Alnus acuminata</i>	$(0.1649*d130^{2.2755})$	Acosta et al., 2011
<i>Alnus acuminata</i>	$(Exp (-2.14) *d130^{2.23})$	Acosta, 2003
<i>Alseis yucatanensis</i>	$(0.0301*(d130^{2}*Ht) ^1)$	Cairns et al., 2003
<i>Aphananthe monoica</i>	$(0.062394*d130^{2.71448})$	Rodríguez et al., 2008
<i>Bauhinia divaricata</i>	$(0.197575*d130^{2.34002})$	Rodríguez et al., 2008
<i>Brosimum alicastrum</i>	$(0.0336*(d130^{2}*Ht) ^1)$	Cairns et al., 2003.
<i>Bursera penicillata</i>	$(0.37*d130^{1.96})$	Návar, 2009b
<i>Bursera simaruba</i>	$(0.064808*d130^{2.46998})$	Rodríguez et al., 2008
<i>Carpinus caroliniana</i>	$(0.109343*d130^{2.35954})$	Rodríguez, 2007
<i>Carya ovata</i>	$(0.061554*d130^{2.53157})$	Rodríguez, 2007
<i>Casimiroa greggii</i>	$(0.078545*d130^{2.58952})$	Rodríguez et al., 2008
<i>Clethra pringlei</i>	$(0.067833*d130^{2.50972})$	Rodríguez, 2007
<i>Coffea arabica</i>	$(10^{-0.834}*d130^{2.223})$	Segura et al., 2006
<i>Croton arboreus</i>	$(0.2385 + (0.058*d130^{2}*Ht))$	Cairns et al., 2003
<i>Croton oerstedianus</i>	$(0.178 + (0.0638*d130^{2}*Ht))$	Cairns et al., 2003
<i>Dendropanax arboreus</i>	$(0.037241*d130^{2.99585})$	Rodríguez et al., 2008
<i>Eugenia sp</i>	$(0.46 + (0.037*d130^{2}*Ht))$	Cairns et al., 2003
<i>Ficus sp</i>	$(0.027059*d130^{2.86357})$	Rodríguez, 2007
<i>Guazuma ulmifolia</i>	$(0.232435*d130^{2.21906})$	Rodríguez et al., 2008
<i>Harpalyce arborescens</i>	$(0.401524*d130^{1.83808})$	Rodríguez et al., 2008
<i>Inga sp</i>	$(10^{-0.889}*d130^{2.317})$	Segura et al., 2006

<i>Juniperus sp</i>	$(0.1229*d130^2.3964)$	Návar, 2010
<i>Laguncularia racemosa</i>	$(Exp (-1.5919) *d130^2.1924)$	Day <i>et al.</i> , 1987
<i>Liquidambar styraciflua</i>	$(0.180272*d130^2.27177)$	Rodríguez, 2007
<i>Liquidambar styraciflua</i>	$(Exp (-2.22) *d130^2.45)$	Acosta, 2003
<i>Manilkara zapota</i>	$(0.0447*(d130^2*Ht) ^1)$	Cairns <i>et al.</i> , 2003.
<i>Myrsine coriacea</i>	$(Exp (-1.99) *d130^2.26)$	Acosta <i>et al.</i> , 2002
<i>Nectandra salicifolia</i>	$(0.004038*d130^3.35693)$	Rodríguez, 2007
<i>Pinus arizonica</i>	$(11.509+-3.1229*d130+0.31*d130^2+0.0004*d130^2*Ht)$	Pimienta <i>et al.</i> , 2007
<i>Pinus arizonica</i>	$(22.3476+-4.947*d130+0.4911*d130^2+0.0039*d130^2*Ht)$	Pimienta <i>et al.</i> , 2007
<i>Pinus arizonica</i>	$(Exp (-0.877) *d130^1.98)$	Návar, 2010a
<i>Pinus arizonica</i>	$(Exp (-2.523) *d130^2.437)$	Návar, 2010a
<i>Pinus arizonica</i>	$(Exp (-3.573) *d130^2.746)$	Návar, 2010a
<i>Pinus ayacahuite</i>	$(0.058*(d130^2*Ht) ^0.919)$	Ayala, 1998
<i>Pinus ayacahuite</i>	$(Exp (-3.066) *d130^2.646)$	Návar, 2010a
<i>Pinus durangensis</i>	$(Exp (-2.084) *d130^2.323)$	Návar, 2010a
<i>Pinus durangensis</i>	$(Exp (-3.416) *d130^2.715)$	Návar, 2010a
<i>Pinus engelmannii</i>	$(0.1354*d130^2.3033)$	Návar, J. 2009b
<i>Pinus leiophylla</i>	$(Exp (-3.039) *d130^2.523)$	Návar, 2010a
<i>Pinus leiophylla</i>	$(Exp (-3.549) *d130^2.787)$	Návar, 2010a
<i>Pinus maximinoi</i>	$(0.0551 * (d130 * Ht) ^1.3895)$	Mequeas-González, 2008
<i>Pinus oocarpa</i>	$(Exp (-3.065) *d130^2.625)$	Návar, 2010a
<i>Pinus patula</i>	$(Exp (-1.8621) *d130^2.27675)$	Castellanos <i>et al.</i> , 1996
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$(0.35179*d130^2)$	Aguirre y Jiménez, 2011
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$(Exp (-3.1641) *d130^2.5996)$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2007
<i>Pinus sp</i>	$(0.084*d130^2.475)$	Ayala <i>et al.</i> , 2001
<i>Pinus sp</i>	$(Exp (-2.818) *d130^2.574)$	Návar, 2010a
<i>Pinus teocote</i>	$(0.40196*d130^2)$	Aguirre y Jiménez, 2011
<i>Pinus teocote</i>	$(Exp (-3.182) *d130^2.702)$	Návar, 2010a
<i>Piper amalago</i>	$(0.3627 + (0.0322*d130^2*Ht))$	Cairns <i>et al.</i> , 2003
<i>Piscidia piscipula</i>	$(0.064066*d130^2.62323)$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Podocarpus matudae</i>	$(0.132107*d130^2.2217)$	Rodríguez, 2007
<i>Pouteria campechiana</i>	$(0.0358*(d130^2*Ht) ^1)$	Cairns <i>et al.</i> , 2003.
<i>Pouteria reticulata</i>	$(0.0465*(d130^2*Ht) ^1)$	Cairns <i>et al.</i> , 2003.
<i>Prunus pérsica</i>	$(Exp (-2.76) *d130^2.37)$	Acosta, 2003
<i>Psidium guajava</i>	$(0.246689*d130^2.24992)$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Quercus canbyi</i>	$(0.092*d130^2.448)$	Domínguez, 2005
<i>Quercus canbyi</i>	$(Exp (-2.3112) *d130^2.4497)$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2007
<i>Quercus crassifolia</i>	$(0.283*(d130^2*Ht) ^0.807)$	Ayala, 1998
<i>Quercus laceyi</i>	$(Exp (-2.4344) *d130^2.5069)$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2007
<i>Quercus peduncularis</i>	$(Exp (-2.27) *d130^2.39)$	Acosta, 2003

<i>Quercus rysophylla</i>	$(\text{Exp}(-2.2089) * d130^{2.3736})$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2007
<i>Quercus sideroxyla</i>	$(0.089 * d130^{2.5226})$	Návar, 2009b
<i>Quercus sideroxyla</i>	$(\text{Exp}(-2.592) * d130^{2.585})$	Návar, 2010a
<i>Quercus sp</i>	$(0.45534 * d130^2)$	Aguirre y Jiménez, 2011
<i>Quercus sp</i>	$(4371.4 * \text{Exp}(-70.972/d130) + 1.3)$	Aguirre <i>et al.</i> , 2007
<i>Quercus sp</i>	$(\text{Exp}(-2.874) * d130^{2.631})$	Návar, 2010a
<i>Quercus xalapensis</i>	$(0.308451 * d130^{2.1323})$	Rodríguez, 2007
<i>Rhizophora mangle</i>	$(\text{Exp}(-1.5605) * d130^{2.5072})$	Day <i>et al.</i> , 1987
<i>Ternstroemia sylvatica</i>	$(0.035689 * d130^{2.56487})$	Rodríguez, 2007
<i>Ternstroemia sylvatica</i>	$(0.132193 * d130^{2.49568})$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Tilia americana</i>	$(0.048454 * d130^{2.58164})$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Trichilia havanensis</i>	$(0.130169 * d130^{2.34924})$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2008
<i>Wimmeria concolor</i>	$(0.346847 * d130^{1.99059})$	Rodríguez <i>et al.</i> , 2009
Bosque de coníferas	$(0.887 + ((10486 * d130^{2.84}) / (d130^{2.84} + 376907)))$	Schlamadinger <i>et al.</i> , 2003
Bosque de encino	$(0.5 + ((25000 * d130^{2.5}) / (d130^{2.5} + 246872)))$	Schlamadinger <i>et al.</i> , 2003
Bosque de pino	$(\text{Exp}(0.685) * \text{Ht}^{1.218})$	Návar, 2010b
Bosque mesófilo de montaña, Selva perennifolia, Selva subcaducifolia, Vegetación hidrófila	$(\text{Exp}(-2.4099) * (d130^{2 * \text{Ht} * P})^{0.9522 * 1})$	Brown <i>et al.</i> , 1989
Bosque mesófilo de montaña, Selva perennifolia, Selva subcaducifolia, Vegetación hidrófila	$(P * \text{Exp}(-1.499 + 2.148 * \ln(d130) + 0.2079 * \ln(d130)^2 + -0.0281 * \ln(d130)^3))$	Chave <i>et al.</i> , 2005
Selva perennifolia	$(P * \text{Exp}(-1.239 + 1.98 * \ln(d130) + 0.207 * \ln(d130)^2 + -0.0281 * \ln(d130)^3))$	Chave <i>et al.</i> , 2005
Selvas secas (Selva caducifolia)	$(10^{(-0.8092 * (\text{GE} * \text{AB}130 * \text{Ht}))^{0.8247}})$	Martínez-Yrizar <i>et al.</i> , 1992
Vegetación hidrófila	$(P * \text{Exp}(-1.349 + 1.98 * \ln(d130) + 0.207 * \ln(d130)^2 + -0.0281 * \ln(d130)^3))$	Chave <i>et al.</i> , 2005
Bosque cultivado Especial otros tipos Matorral xerófilo	$(\text{Exp}(-2.187) * (d130^{2 * P * \text{Ht}})^{0.916 * 1})$	Chave <i>et al.</i> , 2005

### c) Valores de densidad de la madera

Los valores de densidad de la madera se utilizaron, como un proceso intermedio, para estimar el carbono de la biomasa aérea, mediante modelos alométricos generales. Se utilizaron también como valores de referencia para estimar el carbono de la biomasa subterránea y de la madera muerta (muertos en pie, tocones y material leñoso caído para sus diversas categorías de tamaño).

Las fuentes de información que integran la base de datos total de densidades de la madera son:

- Zanne *et al.* 2009. Cuenta con 16,468 valores con Densidad de la Madera ( $\text{g/cm}^3$ ). La densidad es obtenida como peso seco al horno/volumen verde (Wood density ( $\text{g/cm}^3$ ), oven dry mass/fresh volume).
- Valores de densidad de Barajas-Morales (1987). Base de datos de densidad de la madera basada en peso seco al horno/volumen. Aunque no indica claramente si es volumen húmedo o anhidro, se puede inferir que se trata de volumen anhidro, al indicar que su

obtención es subsecuente a la determinación del peso después de pasar por un proceso de secado al horno.

- Valores de densidad del INFyS 2013. "Convenio Instituto de Biología UNAM". La base de datos cuenta con un total de 4,034 valores, de los cuales 3,608 corresponden a valores de densidad útiles. Estas densidades de la madera fueron colectadas de los mismos registros del INFyS para el año 2013, mediante virutas obtenidas con el taladro de Pressler.
- Valores de densidad de la compilación de Hernández-Maldonado (2010). Cuenta con 708 valores compilados por el autor, quien se refiere a ellos como obtenidos por la relación de peso anhidro/volumen saturado de la madera (volumen verde).
- Valores de densidad de la Compilación efectuada para el proyecto "Propiedades físicas de ecosistemas forestales, 2012". Cuenta con valores de densidad estimados con diferentes métodos, desde aquellos calculados con volumen anhidro hasta aquellos estimados con volumen al 30% de humedad.

Dada la gran heterogeneidad para la determinación de las densidades de la madera se realizó estandarización de los valores mediante el uso del modelo publicado por Simpson (1993) para estimar los valores de gravedad específica y densidad básica de la madera, es decir, valores de densidad obtenidos con volumen seco o anhidro y valores obtenidos con volumen verde o con determinado porcentaje de humedad respectivamente.

$$Densidad\ básica = \frac{DSA}{1 + 0.265 \cdot \frac{(30 - \%Humedad)}{30} \cdot DSA / 0.9982}$$

Donde:

- DSA: densidad sin agua.
- 0.265: coeficiente empírico entre la gravedad específica básica y la contracción total de la madera, cuando la humedad en la madera baja de 30% a 0%; aplica de manera aproximada para diferentes especies de angiospermas y gimnospermas (Simpson 1993, en torno de Stamm 1964).
- %Humedad: Humedad eliminada en porcentaje.
- 0.9982: densidad de agua en g/cm<sup>3</sup> a una temperatura de 20°C.

La base de datos de densidades de la madera final incluye 4 posibles valores de densidad por registro (**Cuadro 31**).

**Cuadro 31.** Tipos de densidad de la madera por registro

Tipo de densidad	Características
<b>GE (PS/VS)</b>	Gravedad específica. Peso seco (anhidro)/Volumen seco (anhidro). Fuente original.
<b>Densidad Básica (PS/VV)</b>	Densidad Básica. Peso seco (anhidro)/volumen verde. Fuente original.
<b>GE (PS/VS) calculada</b>	Gravedad específica calculada a partir de la Densidad Básica de la fuente original.
<b>Densidad Básica (PS/VV) calculada</b>	Densidad Básica calculada a partir de la gravedad específica de la fuente original.

La base de datos de densidades de la madera contiene un total de 21,162 valores y se encuentra disponible en el siguiente vínculo: [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono\\_MultitemporalClaseI\\_PCC](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono_MultitemporalClaseI_PCC).

#### **d) Fracciones de carbono**

La concentración de carbono de la base de datos de fracciones de carbono son valores promedio únicos para todo el individuo (incluyendo tocón, tronco, ramas, hojas, flores y semillas) de una

misma especie. Algunos valores de concentraciones de carbono utilizados se muestran en el Cuadro 32.

**Cuadro 32.** Fracciones de carbono por especie, genero o tipo de vegetación.

<b>Especie o tipo de vegetación</b>	<b>% C</b>	<b>Referencia</b>
Bosque mesófilo	44.90	Figuroa-Navarro et al., 2005
Bosque mesófilo de montaña	49.62	Figuroa-Navarro et al., 2005
Bosque pino	46.80	Figuroa-Navarro et al., 2005
<i>Abies vejarii</i>	47.35	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Alnus sp</i>	51.30	Figuroa-Navarro et al., 2005
<i>Brosimum alicastrum</i>	45.08	Hernández y Pérez, 2003
<i>Caesalpinia platyloba</i>	51.06	Hernández y Pérez, 2003
<i>Clethra sp</i>	49.63	Figuroa-Navarro et al., 2005
<i>Cupressus arizonica</i>	49.23	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Dendropanax arboreus</i>	47.00	Hernández y Pérez, 2003
<i>Inga sp</i>	50.36	Figuroa-Navarro et al., 2005
<i>Juniperus flaccida</i>	51.18	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Juniperus monosperma</i>	49.11	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Liquidambar sp</i>	49.67	Figuroa-Navarro et al., 2005
<i>Lysiloma bahamensis</i>	47.09	Hernández y Pérez, 2003
<i>Manilkara zapota</i>	47.89	Hernández y Pérez, 2003
<i>Metopium brownei</i>	49.74	Hernández y Pérez, 2003
<i>Picea mexicana</i>	46.98	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus arizonica</i>	49.36	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus ayacahuite</i>	48.86	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus cembroides</i>	50.25	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus culminicola</i>	46.13	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus greggi</i>	47.13	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus hartwegii</i>	46.87	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus nelsonii</i>	47.41	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus pseudostrabus</i>	50.35	Aguirre y Jiménez, 2011
<i>Pinus pseudostrabus</i>	50.35	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus remota</i>	45.67	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Pinus tecote</i>	47.78	Aguirre y Jiménez, 2011
<i>Pinus tecote</i>	47.48	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Piscidia communis</i>	48.40	Hernández y Pérez, 2003
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	46.76	Yerena-Yamallel et al., 2012
<i>Quercus spp</i>	48.43	Aguirre y Jiménez, 2011
<i>Quercus spp</i>	47.26	Figuroa-Navarro et al., 2005
<i>Rapanea sp</i>	49.49	Figuroa-Navarro et al., 2005
<i>Selva baja caducifolia</i>	48.09	Jaramillo et al., 2003
<i>Sickingia salvadorensis</i>	49.91	Hernández y Pérez, 2003
<i>Simarouba glauca</i>	49.11	Hernández y Pérez, 2003
<i>Swartzia cubensis</i>	51.00	Hernández y Pérez, 2003
<i>Swietenia macrophylla</i>	48.51	Hernández y Pérez, 2003
<b>Promedio</b>	<b>48.37</b>	

### **Insumos Espaciales**

**Series de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI.** Para la estimación del carbono de la BA se utilizó información cartográfica contenida en las cartas de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250 000 a nivel Nacional en sus series IV (INEGI, 2012) y VI (INEGI, 2017a) elaboradas por el INEGI. Las series comprenden un periodo que abarca de 2007 (Serie IV) hasta 2014 (Serie VI).

En el proceso de estimación del carbono de la BA, estas series se utilizaron para asignar a cada uno de los sitios del INFyS una clase de vegetación y poder realizar lo siguiente:

- Implementar el criterio para asignar el mejor modelo alométrico de biomasa a cada uno de los registros del INFyS con base en el tipo de vegetación.
- Asignar un valor promedio para aquellos registros sin nombre, con ausencia de valor de densidad de la madera y fracción de carbono, a partir de valores asignados a las especies conocidas para el mismo tipo de vegetación.

**Ecorregiones de México.** Las ecorregiones de México se utilizaron en la estimación de carbono de la biomasa aérea, para asignar a cada uno de los sitios del INFyS la ecorregión a la que pertenece y poder así realizar lo siguiente:

- Implementar el criterio para asignar el mejor modelo alométrico de biomasa a cada uno de los registros del INFyS acorde con la ecorregión.
- Generar un valor promedio para aquellos registros sin nombre, con ausencia de valor de densidad de la madera y fracción de carbono, a partir de valores asignados a las especies conocidas para la misma ecorregión.

#### **9.1.1.1.3. Método de estimación del carbono de la Biomasa Aérea**

El procedimiento general para estimar los contenidos de carbono de la biomasa aérea de la vegetación parte de los registros de ramas y tallos vivos del muestreo (2004-2007) y remuestreo (2009-2014) del INFyS.

La estimación se realiza para cada uno de los registros mayores o iguales 7.5 cm dentro del área de muestreo de los sitios (400 m<sup>2</sup>). El carbono por sitio muestreado del INFyS es resultado de la sumatoria del carbono de todos los registros en el sitio y posteriormente se estimó a nivel CGL.

La estimación se llevó a cabo a través del Sistema de Estimación de Biomasa y Carbono (SEByC), el cual es un sistema que contiene los insumos de estimación de carbono e implementa un algoritmo de asignación automatizada de modelos alométricos para calcular primeramente el carbono de la biomasa por cada registro mediante los siguientes pasos:

- a) Reconocimiento de criterios de asignación y selección
- b) Asignación de modelos alométricos de biomasa a cada registro
- c) Asignación de densidades de la madera
- d) Asignación de una fracción de carbono
- e) Exclusiones y casos especiales

#### **a) Reconocimiento de criterios de asignación y selección. Insumos centrales vs insumos complementarios.**

En esta fase se identificaron las variables dasométricas clave y los parámetros requeridos para seleccionar adecuadamente los modelos alométricos, densidades de la madera, fracciones de carbono, catálogos de especies e información espacial para estimar la BA.

La base de datos de muestreo (2004-2007) y remuestreo (2009-2014) del INFyS contiene información dasométrica de tallos y ramas vivas registradas por sitio en la sección de arbolado para bosque y selvas y vegetación mayor para otras comunidades. Esta base de datos de registros contenidos en el SEByC contiene controles de calidad y estandarización para todas aquellas variables susceptibles de ser utilizadas como criterio de asignación de modelos alométricos de biomasa y carbono como se describió en la subsección “*Controles de calidad para las variables utilizadas para la estimación*”.

Los tallos y ramas fueron identificados por sitio, CGL y año en el que fueron registrados en campo, con base en esto fue posible asociar la coordenada de campo del centro de su respectivo sitio y por

lo tanto una clase INEGI y una ecorregión. La clase INEGI y la ecorregión fueron criterios de asignación de modelos alométricos de biomasa y carbono, y del valor de densidad de la madera.

La base de datos de modelos alométricos, contenida en el SEByC, incluyó los criterios (variables o metadatos) de asignación y selección de un modelo para cada registro del INFyS:

- Nombre científico depurado. Nombre escrito correctamente.
- Rango Diamétrico. Rango diamétrico del modelo.
- Tipo de vegetación/uso de suelo. Tipo de vegetación de la serie V del INEGI donde se ubicaron los individuos con los cuales fue elaborado el modelo.
- Ecorregión. Ecorregión donde se generó el modelo alométrico.
- Tamaño de muestra. Número de individuos utilizados para la generación del modelo alométrico.
- Coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Medida de bondad de ajuste del modelo.

La base de datos de valores de densidad de la madera, también contenida en el SEByC, incluyó los siguientes criterios necesarios para asignar un valor de densidad a una rama o tallo:

- Nombre científico depurado. Nombre correctamente escrito.
- Valor de densidad de la madera. Expresado en peso anhidro entre volumen verde.

La base de datos de fracciones de carbono, incluida en el SEByC, contiene la proporción de carbono por cada unidad de biomasa para especies de plantas. El criterio usado se muestra enseguida:

- Nombre científico depurado. Nombre correctamente escrito.
- Porcentaje de carbono de la biomasa.

El catálogo de nombres de plantas del INFyS permitió realizar una correspondencia entre nombres aceptados y sinonimias dentro y entre bases de datos, con ello se aseguró la total aplicabilidad del modelo alométrico, la densidad de la madera y la fracción de carbono al registro del INFyS, independientemente de cómo fue registrado el nombre.

La tabla de correspondencia, al ser un sistema jerárquico del sistema de clasificación de uso de suelo y vegetación del INEGI, permitió que las clases más desagregadas (de acuerdo con el INEGI) se agruparan mediante criterios de afinidad ecológica, florística y fisonómica, en clases más generales, incluyendo las categorías de grupos de vegetación del INEGI, los estratos de reporte del presente inventario y las categorías del IPCC.

Las series de uso de suelo y vegetación del INEGI y las ecorregiones fueron incorporadas al SEByC a través del cruce de coordenadas de los sitios del INFyS, de las ubicaciones donde se construyeron los modelos alométricos de biomasa y para poder obtener los valores de densidad de la madera por ecorregión.

#### ***b) Asignación de modelo alométrico de biomasa.***

Para estimar la biomasa contenida en cada registro de vegetación leñosa se aplicó un algoritmo de asignación de modelos alométricos contenido en el SEByC, el cual permitió seleccionar el mejor modelo alométrico para cada uno de los registros leñosos vivos.

El árbol de decisión se basa en un Análisis de Sensibilidad de Modelos Alométricos (ASMA), que permite identificar el modelo más adecuado en función de criterios ecológicos, espaciales y estadísticos. En este árbol de decisión se indica la prioridad de estos criterios para la asignación del mejor modelo y la prioridad de selección del modelo que aquellos casos en los que hay dos o más modelos posibles en su asignación (**Figura 30**).

La ruta A describe el proceso de estimación estándar a través de niveles. En cada uno ellos se involucran aquellos criterios que determinan el mejor modelo alométrico de biomasa que debe emplearse por cada registro de ramas y tallos del INFyS partiendo de una asignación de modelo

específico Dentro de cada nivel se sigue la ruta B, la que incorpora otros criterios de asignación: ecorregiones, tipos de vegetación y rango diamétrico. Dentro de cada nivel y ruta, si dos o más modelos cumplen con los criterios de asignación, entonces se utilizan los criterios de selección siguientes: en primer lugar, se asigna aquel modelo que tenga mayor amplitud de rango diamétrico, enseguida aquellos modelos con mayor tamaño de muestra y finalmente aquel modelo con el mayor coeficiente de determinación.

En el nivel I se asigna aquel modelo desarrollado para la especie (ruta A), desarrollado en la misma ecorregión (nivel 2), para el mismo tipo de vegetación (estrato de vegetación) y que el diámetro normal del registro esté incluido en el rango diamétrico del modelo (ruta B). Si estos criterios no se cumplen, entonces se asigna el modelo que esté desarrollado en la misma ecorregión y dentro del rango diamétrico (ídem). Si estos criterios tampoco se cumplen, entonces se asigna el modelo del mismo tipo de vegetación y dentro del rango diamétrico (ídem). Si no se cumplen estos criterios, entonces se asigna el modelo cuyo rango diamétrico incluya al registro. Si en cada uno de estos subniveles de la ruta B es posible asignar dos o más modelos, entonces se utilizan los criterios de selección siguientes: en primer lugar, se utiliza aquel modelo cuyo rango diamétrico sea mayor, en caso de haber dos o más modelos que cumplan estos criterios entonces se selecciona aquel modelo con mayor tamaño de muestra, si aun así continúan dos o más modelos entonces se selecciona aquel modelo con mayor coeficiente de determinación.

Si no existe modelo que cumpla con los criterios del nivel I (modelo a nivel de especie) y aquellos criterios de asignación y selección de la ruta B (ecorregión, tipo de vegetación, rango diamétrico, amplitud de rango diamétrico, tamaño de muestra y coeficiente de determinación) entonces se continúa al nivel II, en donde se emplean aquellos modelos desarrollados a nivel de género.

El nivel III considera el criterio de afinidad de género, refiriéndose a aquel modelo desarrollado para cada una de las especies del mismo género.

En los niveles IV, V y VI, a diferencia de los niveles I, II y III, respectivamente, utiliza los mismos criterios con la excepción de que se excluye el rango diamétrico como criterio de asignación.

El nivel VII utiliza modelos generales del tipo de vegetación para la misma ecorregión y rango diamétrico.

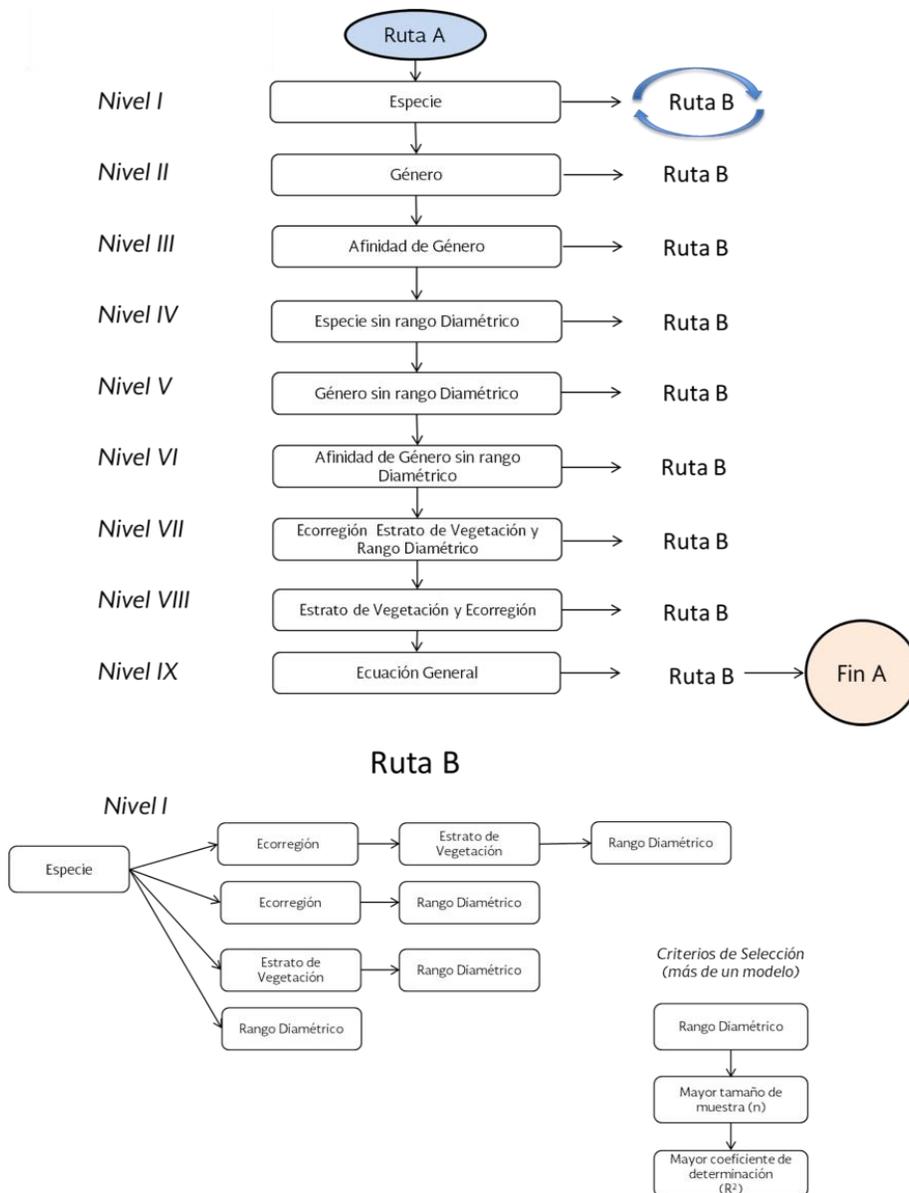
El nivel VIII toma en cuenta modelos generales del tipo de vegetación para la misma ecorregión, excluyendo el rango diamétrico.

El nivel IX emplea una ecuación general.

A partir de los niveles II al IX los criterios de asignación y selección empleados en la ruta B son iguales que los utilizados en el nivel I.

A los registros sin nombre científico de especie o género (o indeterminados) del INFyS se les emplean modelos alométricos por tipo de vegetación o generales a partir del nivel VII al IX.

El árbol de asignación anteriormente descrito aseguró que todas las ramas y tallos del INFyS tengan una estimación de biomasa, mediante el uso de un modelo específico hasta un modelo general.



**Figura 30.** Árbol de decisión para la selección de modelos alométricos de biomasa. "A" es la ruta de estimación estándar. "B" corresponde a la ruta de estimación que sigue cada uno de los niveles. Los criterios de selección se utilizan como criterio de desempate cuando es posible asignar más de un modelo que cumpla con los criterios por nivel

**c) Asignación de densidades de la madera.**

Algunos modelos alométricos generales, además del diámetro normal y la altura total, utilizan la densidad de la madera como variable independiente para estimar la biomasa aérea (Chavé *et al.*, 2005). Para cumplir con este criterio y asegurar que todos los registros de tallos y ramas del INFyS (muestreo y remuestreo) contaran con valor de densidad de la madera., a cada registro de rama y tallo se le asignó un valor de densidad de la madera de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- A los registros de ramas y tallos del INFyS identificados a nivel de especie se les asignó un valor de densidad de la madera promedio por especie, independientemente del área de distribución.

- A los registros de ramas y tallos identificados a nivel de especie o género que no tenían valor de densidad de la madera se les asignó un valor promedio por género, con base en los valores de densidad de aquellas especies con valor conocido.
- Los registros de ramas y tallos identificados a nivel de especie o género, sin valor de densidad de madera para el mismo género, así como los registros indeterminados, se les asignó un valor promedio por ecorregión nivel II. Este cálculo se realizó a partir de aquellos registros con valor de densidad de la madera producto del paso a y b.

#### **d) Asignación de una fracción de carbono**

Para estimar el contenido de carbono a partir de los contenidos de biomasa por tallo o rama, se utilizaron fracciones de carbono como se describe enseguida:

- Se asignó una fracción de carbono específico a los registros de ramas y tallos identificados a nivel de especie.
- Se asignó un valor promedio de las fracciones conocidas a los registros de ramas y tallos identificados a nivel de especies, género e indeterminados sin fracción de carbono.

#### **e) Exclusión y casos especiales.**

Los registros pertenecientes a las familias Agavaceae, Cyatheaceae, Cactaceae, Nolinaceae, Cyclanthaceae, Arecaceae, Poaceae, Cycadaceae y el siguiente género y especies: *Carica*, *Euphorbia canariensis* y *Fouquieria columnaris*, no obstante, cuentan con una estimación de biomasa y carbono a través de modelos generales, fueron excluidos como una medida conservadora en la suma por sitio al no contar con modelos precisos. En estos casos la asignación de modelos generales y el uso de valores de densidad de la madera promedio por ecorregión, generan una sobrestimación de biomasa y carbono.

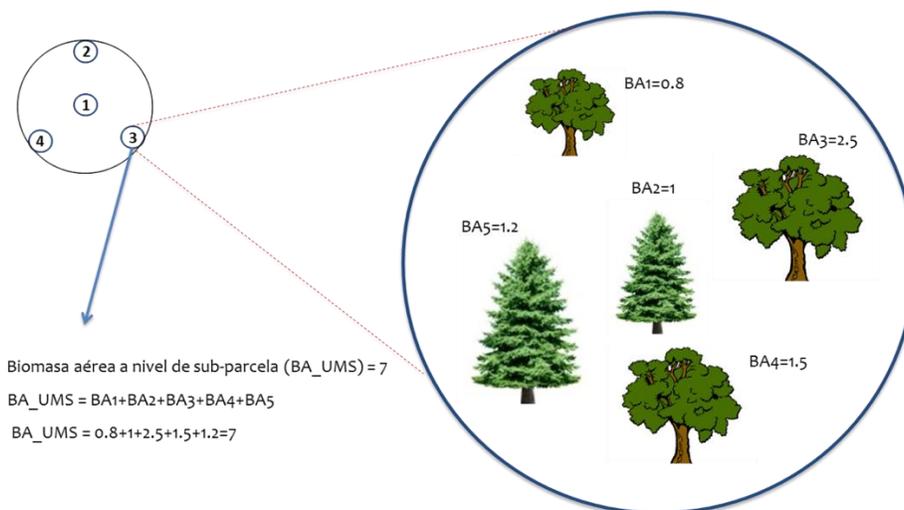
Adicional, se llevó a cabo una revisión de densidades de área basal por CGL con el fin de identificar aquellos CGL con valores superiores atípicos, imposibles de ocurrir en condiciones naturales.

Con base en los datos de campo, considerados para bosques, selvas y otras comunidades; se registra arbolado para los dos primeros, y vegetación mayor para el tercero. En la sección de arbolado (considerado para bosques y selvas), cada una de las ramas y tallos del arbolado corresponden a un registro en la base de datos del INFyS, independientemente si pertenece o no al mismo individuo.

Por otro lado, la vegetación mayor (considerada para las comunidades áridas y semiáridas) corresponde a todos aquellos individuos que poseen al menos 7.5 cm de diámetro normal promedio (para una o todas sus ramas registradas). Cada registro corresponde a un individuo, el cual puede poseer una o varias ramas. De cada individuo se registra el diámetro promedio de las ramas o tallos y se registra el número de ramas. Para obtener el contenido de biomasa por individuo, el valor de biomasa y carbono estimado por rama se multiplicó por el número de ramas o tallos para finalmente ser sumados al total por sitio.

#### **Método de estimación del carbono de la Biomasa Aérea a nivel de sitio y CGL**

La unidad de muestreo considerada para estimar el carbono de los registros vivos de arbolado y vegetación mayor es el sitio. Primero se consideró la estimación del carbono de la BA a nivel de observación, como se mostró en la sección anterior. Posteriormente, se procedió a obtener el carbono de la BA a nivel de sitio, mediante la suma del carbono de todos los registros vivos de cada sitio (**Figura 31**).



**Figura 31.** Estimación de la biomasa aérea a nivel de sitio

Posteriormente el contenido de carbono por sitios se extrapoló a contenido de carbono a nivel CGL, en función de los sitios muestreados. Tal como se mencionó en la sección anterior, la cuantificación de biomasa y carbono por sitio excluye los registros de plantas (generalmente suculentas y crasas) que no cuentan con modelos alométricos de biomasa precisos (para evitar una sobreestimación de la biomasa y carbono), además de los registros de los CGL con valores superiores atípicos de área basal. Por otro lado, en la sumatoria de cada sitio se incluye la biomasa y carbono de aquellos individuos con dos o más ramas registrados en la sección de vegetación mayor del INFyS (2004-2014).

#### **9.1.1.1.4. Resultados de la estimación del carbono de la Biomasa Aérea**

Los resultados se presentan de acuerdo con los 2 niveles propuestos en el método: a) observación y b) sitio o unidad de muestreo secundario y a nivel de CGL. En particular, la base de datos que contiene los resultados de la BA a nivel de sitio presenta las estimaciones de la BA para el año puntual en que se levantó la información del re-muestreo o muestreo del INFyS.

#### **Resultados de la estimación de carbono a nivel de observación o registro.**

La base de datos resultante cuenta con 1,173,506 y 1,382,043 registros u observaciones de tallos o ramas del muestreo y remuestreo del INFyS respectivamente, además de sus variables necesarias para la estimación (ciclo, año, tipificación, número de CGL, número de sitio, ecorregión, tipo de vegetación, condición vivo, diámetro normal estandarizado, altura total estandarizada y nombre científico), cuentan con su contenido de biomasa y carbono en kg. Cabe destacar que estos 2,555,549 registros corresponden únicamente a los registros utilizados para la estimación de biomasa y carbono.

En los vínculos [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono\\_MultitemporalClaseI\\_PCC\\_y\\_Estimacion\\_C\\_BA\\_BS\\_MP\\_Toc\\_Muestreo.csv](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono_MultitemporalClaseI_PCC_y_Estimacion_C_BA_BS_MP_Toc_Muestreo.csv), se encuentran las bases de datos de observaciones de muestreo y remuestreo.

#### **Resultados de la estimación del carbono a nivel de sitio y por conglomerado.**

Los resultados de los contenidos de carbono por sitio se presentan en dos tablas separadas por ciclo de muestreo y remuestreo, cada una de ellas contiene 104,880 sitios correspondientes a los 4 sitios de cada uno de los 26,220 CGL de la malla original del INFyS. Es decir, ambas tablas incluyen los sitios y CGL debidamente tipificados como accesibles con valor y sin valor (excluidos atípicos) e inaccesibles sin valor (NULL), mismos que pueden consultarse en el archivo

[http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono\\_MultitemporalClaseIPCC/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono_MultitemporalClaseIPCC/).

Los demás campos descritos, se incluyen en la estimación de biomasa y carbono por sitio, expresados en toneladas.

Para fines de la asignación de los contenidos de carbono en la BA, la base de datos se integró a nivel de CGL, que incluye los 26,220 CGL. Los valores se estimaron en toneladas de carbono por hectárea con base en el contenido de carbono total de sitios accesibles y el número de dichos sitios. Se incluye el número del CGL, el año de levantamiento, el contenido de carbono total por sitios accesibles, expresado en toneladas y el número de sitios accesibles. Los sitios inaccesibles o ausentes de contenido de carbono están incluidos y tipificados como tales de manera explícita en el archivo. Esta base de datos se incluye en el siguiente vínculo: [tC\\_BA\\_BS\\_R\\_MyRM.xlsx](#).

### **9.1.1.2. Biomasa Subterránea**

Siguiendo las directrices del IPCC (2006), el carbono de la biomasa subterránea se estimó como una fracción de la biomasa aérea, por lo tanto, para obtener el carbono de este reservorio se recurrió a las estimaciones de la biomasa aérea descritas en la sección anterior y posteriormente se ponderaron por la relación biomasa subterránea/biomasa aérea (R) obtenidas de las directrices del IPCC (2006) en función de estimaciones de t/ha de biomasa subterránea y las ecorregiones.

#### **9.1.1.2.1. Definición del Carbono de la Biomasa Subterránea**

La biomasa subterránea está formada por todas aquellas raíces las raíces vivas finas, mayores o iguales a 2 mm de diámetro. Las menores a 2 mm de diámetro se excluyen de este almacén ya que empíricamente no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o del mantillo.

#### **9.1.1.2.2. Insumos empleados para la estimación del carbono de la Biomasa Subterránea**

El insumo central para la estimación de la variación de carbono en la biomasa subterránea (raíces) es el carbono de la biomasa aérea. Los cálculos se realizaron mediante el SEByC, el cual integra los mismos insumos utilizados para la estimación de la biomasa aérea, es decir la base de datos del muestreo (2004-2007) y remuestreo (2009-2014) del INFyS, junto con los insumos complementarios que se enuncian enseguida: catálogo de nombre de plantas, modelos alométricos, valores de densidad de la madera, fracciones de carbono, tabla de correspondencia, series de uso de suelo y vegetación del INEGI y ecorregiones (descritas en subsección 9.1.1.2 "*Insumos empleados para la estimación del carbono de la Biomasa Aérea*"). Un insumo adicional fue la relación biomasa subterránea/biomasa aérea (R) (cuadro 4.4 de las directrices IPCC 2006).

#### **9.1.1.2.3. Método de estimación del carbono de la Biomasa Subterránea**

El procedimiento general para estimar los contenidos de carbono de la biomasa subterránea parte de la estimación del carbono de la biomasa aérea (descrita en la sección anterior de BA) para el muestreo (2004-2007) y el remuestreo (2009-2014) del INFyS, ya que de acuerdo con las guías del IPCC (2006), la biomasa subterránea es una fracción (razón) de la biomasa aérea.

#### **Método de estimación del carbono de la Biomasa Subterránea a nivel de Sitio.**

Uno de los criterios propuestos por el IPCC (2006) para el uso de la relación de biomasa subterránea/biomasa aérea específica (R) es la densidad de biomasa aérea por unidad de área (t/ha), de tal manera que al contar con la biomasa aérea por sitio fue posible estimar la biomasa subterránea en toneladas de biomasa por hectárea.

El procedimiento para la estimación del carbono en la biomasa subterránea a nivel de sitio en ton/ha consideró diferentes pasos y criterios:

1. Estimación de biomasa aérea por hectárea por sitio del INFyS. Se utilizó la estimación de la biomasa aérea por sitio del INFyS expresada en toneladas de biomasa por hectárea, la cual

- se utilizó como criterio de asignación del factor de relación de biomasa subterránea/biomasa aérea (R) del cuadro 4.4 de las guías del IPCC (2006) (**Cuadro 33**).
2. Tipo de vegetación o uso de suelo por sitio del INFyS de acuerdo con las series del INEGI. Mediante la intersección de las coordenadas del remuestreo de los sitios del INFyS con la serie V (INEGI, 2013) de uso de suelo y vegetación del INEGI se asoció una clase de vegetación o uso de suelo. Lo anterior obedece a la cercanía de la fecha de elaboración de esta serie del INEGI con el periodo de levantamiento de datos de campo del segundo ciclo del INFyS (remuestreo).
  3. Obtención de factores de relación de biomasa subterránea/biomasa aérea (R) para clases de vegetación de México. Para estimar el crecimiento de la biomasa subterránea, los valores de las relaciones biomasa subterránea/biomasa aérea (R) se obtuvieron a partir de los valores por defecto del Cuadro 4.4 de las guías IPCC (2006) (**Cuadro 33**). Para asignar el valor por defecto (R) más adecuado a las condiciones de México, se procedió a utilizar los dominios y las zonas ecológicas equivalentes a las ecorregiones y ecosistemas vegetales de México de acuerdo con las series de uso de suelo y vegetación del INEGI. Para ello, se intersecaron las capas de ecorregiones de México nivel 1 (con 7 clases) con la capa de uso de suelo y vegetación serie V del INEGI. Posteriormente se generó una matriz de superficie de los tipos de vegetación y usos de suelo por ecorregión, expresada en porcentaje, para identificar aquellas clases de vegetación con mayor extensión por ecorregión nivel 1. Se identificó una correspondencia entre los dominios y zonas ecológicas con las ecorregiones y las clases de vegetación con mayor extensión dentro de ellas. Finalmente, a cada tipo de vegetación y uso de suelo (*sensu* INEGI) se le asignó un tipo de bosque y por tanto el valor R correspondiente. Para aquellos tipos de vegetación y usos de suelo que no tenían correspondencia, se les asignó la mediana de los tipos de bosque presentes en México (**Cuadro 34**).
  4. Asignación del factor de relación R por sitio del INFyS para obtención de biomasa y carbono subterráneo por sitio. De acuerdo con el tipo de vegetación o uso de suelo y la densidad de biomasa aérea por sitio del INFyS, se asignó el correspondiente valor (R) para estimar la biomasa subterránea por sitio. Para calcular el carbono por sitio, se multiplicó la biomasa subterránea obtenida por la fracción de carbono 0.48, valor que corresponde al promedio estimado de las fracciones conocidas para especies mexicanas.

Del procedimiento anterior se destaca que la estimación de la BS se obtuvo a partir de la estimación de la BA (tier 2, datos específicos de país), fracciones de carbono del país y de los factores R con base en el IPCC (2006).

**Cuadro 33.** Relación biomasa subterránea/biomasa aérea (R). Tomado del cuadro 4.4 de las Guías IPCC (2006)

Dominio	Zona Ecológica (Nivel 1)	Zona Ecológica (Nivel 2)	Clave Zona Ecológica (elaboración propia)	Biomasa Aérea	R	min	max	Referencia
Tropical	Bosque tropical lluvioso	Bosque tropical lluvioso	BTLL		0.37			Fittkau y Klinge, 1973
	Bosque tropical húmedo de hojas caducas	Bosque tropical húmedo de hojas caducas	BTH	biomasa aérea <125 t ha <sup>-1</sup>	0.2	0.9	0.25	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea >125 t ha <sup>-1</sup>	0.24	0.22	0.33	Mokany et al., 2006
	Bosque tropical seco	Bosque tropical seco	BTS	biomasa aérea <20 t ha <sup>-1</sup>	0.56	0.28	0.68	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea >20 t ha <sup>-1</sup>	0.28	0.27	0.28	Mokany et al., 2006
Arbustos tropicales	Arbustos tropicales	AT		0.4			Poupon, 1980	
Sistemas montañosos tropicales	Sistemas montañosos tropicales	SMT		0.27	0.27	0.28	Singh et al., 1994	
Subtropical	Bosque subtropical húmedo	Bosque subtropical húmedo	BSTH	biomasa aérea <125 t ha <sup>-1</sup>	0.2	0.09	0.25	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea >125 t ha <sup>-1</sup>	0.24	0.22	0.33	Mokany et al., 2006

	Bosque subtropical seco	Bosque subtropical seco	BSTS	biomasa aérea <20 t ha <sup>-1</sup>	0.56	0.28	0.68	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea >20 t ha <sup>-1</sup>	0.28	0.27	0.28	Mokany et al., 2006
	Estepa subtropical	Estepa subtropical	EST		0.32	0.26	0.71	Mokany et al., 2006
	Sistemas montañosos subtropicales	Sistemas montañosos subtropicales	SMST					
Templado	Bosque oceánico templado, Bosque continental templado, Sistemas montañosos templados	Coníferas	BCON	biomasa aérea <50 t ha <sup>-1</sup>	0.4	0.21	1.06	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea 50-150 t ha <sup>-1</sup>	0.29	0.24	0.5	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea >150 t ha <sup>-1</sup>	0.2	0.12	0.49	Mokany et al., 2006
		Quercus	BQ	biomasa aérea >70 t ha <sup>-1</sup>	0.3	0.2	1.16	Mokany et al., 2006
		Eucaliptus	EUC	biomasa aérea <50 t ha <sup>-1</sup>	0.44	0.29	0.81	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea 50-150 t ha <sup>-1</sup>	0.28	0.15	0.81	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea >150 t ha <sup>-1</sup>	0.2	0.1	0.33	Mokany et al., 2006
		Otras especies de hoja ancha	BL	biomasa aérea <75 t ha <sup>-1</sup>	0.46	0.12	0.93	Mokany et al., 2006
				biomasa aérea 75-150 t ha <sup>-1</sup>	0.23	0.13	0.37	Mokany et al., 2006
biomasa aérea >150 t ha <sup>-1</sup>	0.24			0.17	0.44	Mokany et al., 2006		
Boreal	Bosque de coníferas boreal, bosques de tundra boreal, sistemas montañosos boreales	BCONB	biomasa aérea <75 t ha <sup>-1</sup>	0.39	0.23	0.96	Li et al., 2003; Mokany et al., 2006	
		BCONB	biomasa aérea >75 t ha <sup>-1</sup>	0.24	0.15	0.37	Li et al., 2003; Mokany et al., 2006	

Para aquellos tipos de vegetación y usos de suelo que no tenían correspondencia, se les asignó la mediana de los tipos de bosque presentes en México (**Cuadro 34**).

**Cuadro 34.** Valores para México de relación biomasa subterránea/biomasa aérea (R). Tomado del cuadro 4.4 de las Guías IPCC (2006)

Dominio	Zona Ecológica (1)	Zona Ecológica (2)	Clave Zona Ecológica (elaboración propia)	Biomasa Aérea	R
Templado	Bosque oceánico templado, Bosque continental templado, Sistemas montañosos templados	Coníferas	BCON	biomasa aérea <50 t ha <sup>-1</sup>	0.4
			BCON	biomasa aérea 50-150 t ha <sup>-1</sup>	0.29
			BCON	biomasa aérea >150 t ha <sup>-1</sup>	0.2
	Bosque oceánico templado, Bosque continental templado, Sistemas montañosos templados	Otras especies de hoja ancha	BL	biomasa aérea <75 t ha <sup>-1</sup>	0.46
			BL	biomasa aérea 75-150 t ha <sup>-1</sup>	0.23
			BL	biomasa aérea >150 t ha <sup>-1</sup>	0.24
Tropical y Subtropical	Bosque tropical seco	Bosque tropical seco	BTS	biomasa aérea <20 t ha <sup>-1</sup>	0.56
			BTS	biomasa aérea >20 t ha <sup>-1</sup>	0.28
	Bosque tropical lluvioso	Bosque tropical lluvioso	BTLL		0.37

Dominio	Zona Ecológica (1)	Zona Ecológica (2)	Clave Zona Ecológica (elaboración propia)	Biomasa Aérea	R
	Bosque tropical húmedo de hojas caducas	Bosque tropical húmedo de hojas caducas	BTH	biomasa aérea <125 t ha <sup>-1</sup>	0.2
			BTH	biomasa aérea >125 t ha <sup>-1</sup>	0.24
	Arbustos tropicales	Arbustos tropicales	AT		0.4
Nacional*			Mediana		0.285

#### 9.1.1.2.4. Resultados de la estimación del carbono de la Biomasa Subterránea

De manera análoga a la BA, la BS a nivel de sitio se presenta para el año puntual en la que se levantó la información del muestreo y remuestreo del INFyS y al ser una proporción de la BA corresponde exactamente a los mismos conglomerados.

##### Resultado de la estimación del carbono a nivel de observación o registro.

Cada uno de los registros de tallos o ramas de muestreo y remuestreo posee su respectivo contenido de biomasa y carbono tanto aérea como subterránea. En los vínculos [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidoCarbono\\_MultitemporalClaseI\\_PCC\\_y\\_Estimacion\\_C\\_BA\\_BS\\_MP\\_Toc\\_Muestreo.csv](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidoCarbono_MultitemporalClaseI_PCC_y_Estimacion_C_BA_BS_MP_Toc_Muestreo.csv) se incluyen las bases de datos de observaciones de muestreo y remuestreo.

##### Resultados de estimación de carbono a nivel de sitio y conglomerado

Se obtuvo una base de datos de biomasa y carbono subterránea (a partir de la biomasa aérea como la suma de cada uno de los registros vivos) para cada uno de los sitios del muestreo (2004-2007) y remuestreo (2009-2014) del INFyS, destacando los siguientes campos:

- Biomasa aérea.
- Biomasa aérea por hectárea inferida de cada sitio del INFyS. Criterio de densidad de biomasa para asignación diferenciada del factor de relación biomasa subterránea/biomasa aérea.
- Tipo de vegetación o uso de suelo de acuerdo con las series de uso de suelo y vegetación del INEGI.
- Factor de relación biomasa subterránea/biomasa aérea (R).
- Biomasa subterránea.
- Carbono de la biomasa subterránea.

Cada una de las bases de datos del INFyS para el muestreo y remuestreo cuenta con 104,880 sitios, correspondientes a los 26,220 CGL de la malla original del INFyS. Consideran además todos los sitios y CGL tipificados como accesibles con y sin valor e inaccesibles sin valor. Esto puede consultarse en la siguiente liga: [Tipificacion\\_CGLs\\_Sitios\\_MyRM.xlsx](#).

La información de carbono de la biomasa subterránea se encuentra incluida en el mismo archivo que contiene el carbono de la biomasa aérea, tal como se indica en la sección 9.1.1.4.

Para fines de la asignación de los contenidos de carbono en la BS, la base de datos se integró a nivel de los 26,220 CGL en el mismo archivo de la base de datos de biomasa aérea, además de un tercer elemento que consiste en la biomasa total, que corresponde a la suma de la BA y BS. Se incluye el número del CGL, el año de levantamiento, el contenido de carbono total por sitios accesibles expresado en toneladas y el número de sitios accesibles. Los sitios inaccesibles o ausentes de contenido de carbono están incluidos y tipificados como tales de manera explícita en el archivo. Esta base de datos se incluye en el siguiente vínculo: [tC\\_BA\\_BS\\_R\\_MyRM.xlsx](#).

### **9.1.1.3. Madera Muerta**

#### **9.1.1.3.1. Definición de Carbono de la Madera Muerta**

La Madera Muerta (MM) está constituida por la biomasa leñosa muerta, madera muerta en pie, madera muerta de los tocones y de la madera muerta tirada sobre el piso (que no forma parte del mantillo). Dentro del área de muestreo (sitios de 400 m<sup>2</sup>) se registra la madera muerta en pie, la cual incluyó todos los registros mayores o iguales a 7.5 cm de diámetro normal (a 1.3 m de altura desde la base del individuo) y mayores o iguales a 1.3 m de altura. En la misma superficie se incluyen los tocones, como todos aquellos registros mayores o iguales 10 cm de diámetro en su límite superior y menores a 1.3 m de altura. Mediante líneas de intersección (Morfín-Ríos *et al*, 2012) se registra la madera muerta sobre el piso o material leñoso caído (MLC) el cual está formado por todas aquellas ramas o tallos mayores a 2 mm de diámetro.

#### **9.1.1.3.2. Insumos empleados para la estimación del carbono de la Madera Muerta**

La madera muerta está integrada por tres componentes o sub-almacenes: a) muertos en pies, b) tocones y c) material leñoso caído (MLC). No obstante, las diferencias metodológicas (dada la naturaleza propia de los mismos) para estimar el carbono almacenado en estos sub-almacenes (ver más adelante), los insumos y categorías de reporte son comunes.

Al igual que la BA y BS, el insumo para la estimación del carbono de la madera muerta en su conjunto es el SEByC, el cual incluye la base de datos del remuestreo del INFyS (2009-2014), así como la base de datos de supervisión (2010). El SEByC incluye además los insumos complementarios: catálogo de nombres de plantas, modelos alométricos, fracciones de carbono, tabla de correspondencia, clases INEGI y ecorregión, modelos de regresión, diámetro normal/diámetro basal. Cabe mencionar que el sub-almacén de muertos en pie fue registrado tanto en el muestreo (2004-2007) como en el remuestreo (2009-2014), mientras que el sub-almacén de tocones y MLC fueron registrados a partir del remuestreo. Por esta razón y con el fin de reportar completo el almacén de madera muerta se utilizó únicamente la información del remuestreo del INFyS (2009-2014) para obtener los contenidos de carbono para este reservorio, así como para la integración de la Matriz de Contenidos de Carbono de la Madera Muerta. En la sección de BA se describe en detalle cada uno de los insumos.

#### **9.1.1.3.3. Método estimación del carbono de la Madera Muerta**

Los métodos de estimación de carbono de la madera muerta se reportan de manera separada para cada uno de los sub-almacenes (muertos en pie, tocones y material leñoso caído) y en una sección final se integran como madera muerta.

##### **9.1.1.3.3.1. Método de estimación del carbono en los Muertos en Pie**

El procedimiento general para estimar las reservas de carbono de la madera muerta de los registros muertos en pie del INFyS (muestreo y remuestreo) se realizaron en dos niveles: a) observación o registro y b) sitio. A continuación, se aborda el método para los dos niveles.

##### **a) Método de estimación de carbono a nivel de observación.**

El procedimiento de cálculo a nivel de observación de los registros muertos en pie se realizó para cada una de las ramas y tallos muertos registrados en los sitios del INFyS. Esto se llevó a cabo usando el SEByC, mediante un algoritmo que incluyó los siguientes pasos:

1. Reconocimiento de criterios de asignación y selección.
2. Asignación de modelos simples de volumen cónico.
3. Asignación de densidades de la madera.
4. Asignación de una fracción de carbono.

## 5. Exclusiones y casos especiales.

### 1. Reconocimiento de criterios de asignación y selección. Insumos centrales y complementarios.

La base de datos de muestreo (2004-2007) y remuestreo (2009-2014) del INFyS contiene tallos y ramas muertas registradas por sitio en la sección de arbolado para bosque y selvas, y vegetación mayor para otras comunidades. A esta base de datos de registros contenidos en el SEByC, se les aplicó controles de calidad y estandarización similares a los implementados en los registros de tallos y ramas vivos, que se resumen enseguida:

- Condición Muerto en pie. Todas aquellas ramas y tallos registrados como muertos en pie.
- Diámetro normal mínimo. Se aseguró que todas las ramas y tallos contuvieran un diámetro normal mínimo de 7.5 cm. A los registros muertos en pie con valor cero, NULL o 999 se les asignó un valor de 7.5 cm. Los registros con diámetro mayor a cero y menor a 7.5 cm conservaron su DN.
- Diámetro normal máximo. Se aseguró que ningún árbol muerto en pie tuviera un diámetro normal mayor al registrado para un árbol vivo, de tal manera que se utilizaron los registros vivos estandarizados como criterio de diámetro normal máximo.
- Altura total mínima. Se aseguró que todas las ramas y tallos tuvieran una altura total mínima de 1.3 m. A los registros muertos en pie con valor cero, NULL o 999 se les asignó un valor de 1.3 m de altura.
- Altura total máxima. Se aseguró que ningún árbol muerto en pie tuviera una altura mayor a un árbol vivo, de tal manera que se utilizaron los registros vivos estandarizados como criterio de altura máxima.
- Nombre científico depurado. Todas las ramas y tallos identificados poseen un nombre correctamente escrito y aceptado. Aquellas ramas y tallos sin identidad de nombre fueron estandarizados como desconocidos.
- Clase INEGI. Se refiere a que cada rama y tallo posee una clase al nivel más desagregado de acuerdo con el sistema de clasificación de uso de suelo y vegetación del INEGI.
- Ecorregión. De manera análoga que el inciso anterior, cada rama y tallo posee una ecorregión al nivel más desagregado (nivel 4) de acuerdo con las ecorregiones publicadas por la CONABIO (<http://www.biodiversidad.gob.mx/region/ecorregiones.html>).

La clase INEGI y la ecorregión fueron criterios para la asignación del valor de densidad de la madera y el modelo de regresión de diámetro basal/diámetro normal obtenido a partir de las submuestras de cada sitio del INFyS (ver sección siguiente: "Asignación de modelos simples de volumen cónico"). Para ello las series de uso de suelo y vegetación del INEGI y las ecorregiones son incorporadas al SEByC a través del cruce de coordenadas de los sitios del INFyS y de los valores de densidad de la madera.

Se desarrolló una base de datos de modelos de regresión de diámetro normal/diámetro basal (DN/DB) a partir del diámetro basal registrado en las submuestras de cada uno de los sitios del INFyS (hasta 3 registros vivos por sitio que forman parte del arbolado y vegetación mayor, a los cuales se les registró adicionalmente el diámetro basal (DB). Con estas submuestras se identificó la relación entre el DN y el DB a través de modelos de regresión lineal desarrollados a nivel de cada uno de los estratos de vegetación en donde se contó con un tamaño de muestra suficiente. La relación entre ambos diámetros para registros vivos se asume que también es válida en los registros muertos en pie. Los criterios de asignación que se utilizaron en el árbol de asignación de estos modelos para estimar el diámetro basal a los registros muertos en pie fueron: 1) Estrato (Grupo de vegetación/uso de suelo) y 2) Coeficiente de determinación –  $R^2$  (Medida de la bondad de ajuste del modelo).

La base de datos de valores de densidad de la madera, incluyeron los siguientes criterios necesarios para asignar un valor de densidad a una rama o tallo muerto en pie: 1) Nombre científico depurado y 2) Valor de densidad de la madera, expresado en peso anhidro entre volumen verde.

La base de datos de fracciones de carbono contiene la proporción de carbono para especies de plantas. Los criterios usados fueron: 1) Nombre científico depurado y 2) Porcentaje de carbono de la biomasa.

El catálogo de nombres de plantas del INFyS permitió realizar una correspondencia entre nombres aceptados y sinonimias dentro y entre bases de datos, con ello se aseguró la total aplicabilidad de asignación de la densidad de la madera y la fracción de carbono al registro del INFyS, independientemente de cómo fue registrado el nombre.

La tabla de correspondencia permitió que las clases más desagregadas (de acuerdo con el INEGI) se agruparan mediante criterios de afinidad ecológica, florística y fisonómica, en clases más generales, incluyendo las categorías de grupos de vegetación del INEGI, los estratos de reporte del presente inventario y las categorías del IPCC.

## 2. Asignación de modelos simples de volumen cónico.

Para la obtención de la biomasa de cada uno de los registros de muertos en pie, se estimó el volumen a partir de la ecuación de un cono  $V = (\pi \times r^2 \times h)/3$  en función del diámetro a la base (DB) y la altura (h) correspondiente. La altura es una variable registrada en campo, por lo que con fines de la estimación se tomó directamente de las bases de datos; sin embargo, el DB es una variable que se obtuvo en función del diámetro normal (DN) debido a que no es una variable registrada en el INFyS. Para ello se generaron modelos lineales de regresión de diámetro normal/diámetro basal, a partir de las submuestras del INFyS.

El proceso general de asignación de los modelos simples de volumen cónico y modelo de regresión de diámetro normal/diámetro basal es análogo al árbol de asignación de modelos alométricos de la biomasa aérea y se describe enseguida:

- En una primera etapa, a todos los registros muertos en pie del INFyS (muestreo y remuestreo) se les estimó el diámetro basal a partir del diámetro normal, esto se realizó mediante aquel modelo de regresión de la misma ecorregión y tipo de vegetación. En caso de no identificarse un modelo afín, se utilizó el modelo de la misma ecorregión. Si aun así no existe un modelo, entonces se utilizó el del mismo tipo de vegetación. Si cualquiera de las condiciones anteriores no se cumpliera, entonces se asumió el diámetro normal como el diámetro basal.
- En una segunda etapa, a cada uno de los registros de muertos en pie se les calculó el volumen mediante el modelo simple de volumen cónico  $V = (\pi \times r^2 \times h)/3$

## 3. Asignación de densidades de la madera.

Una vez obtenido el volumen de los registros muertos en pie a partir del modelo simple de volumen cónico se procedió a estimar la biomasa, para ello el volumen estimado se ponderó por su respectiva densidad de madera de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- A los registros de muertos en pie identificados a nivel de especie se les asignó un valor de densidad de la madera promedio por especie, independientemente del área de distribución.
- A los registros de muertos en pie identificados a nivel de especie o género que no tenían valor de densidad de la madera, así como a los registros indeterminados, se les asignó un valor promedio por ecorregión nivel II a partir de aquellos registros vivos de la misma ecorregión (ver sección análoga para el reservorio de biomasa aérea).

## 4. Asignación de una fracción de carbono

Para estimar el contenido de carbono a partir de la biomasa calculada por registro muerto en pie se utilizaron las fracciones de carbono como se describe enseguida:

- A los registros de muertos en pie identificados a nivel de especie se les asignó una fracción de carbono específica.
- A los registros de muertos en pie identificados a nivel de especie, género e indeterminados sin fracción de carbono se les asignó el valor promedio de las fracciones conocidas.

## 5. Exclusión y casos especiales.

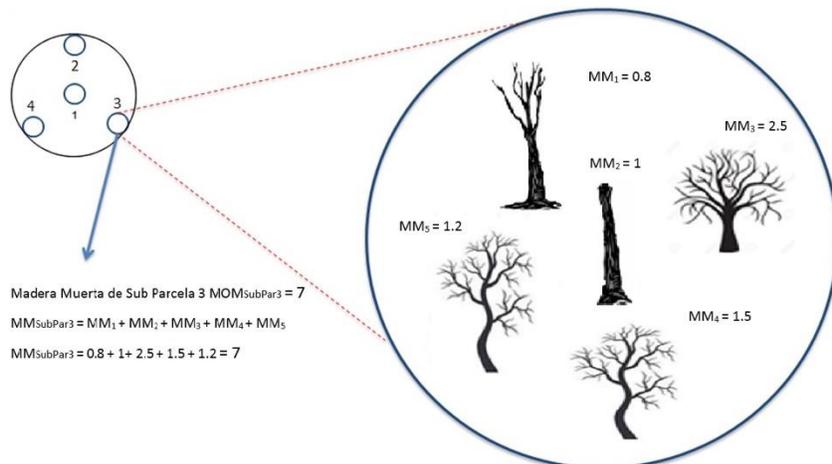
Los registros de muertos en pie identificados y pertenecientes a las familias Agavaceae, Cyatheaceae, Cactaceae, Nolinaceae, Cyclanthaceae, Arecaceae, Poaceae, Cycadaceae, Nolinaceae y el siguiente género y especies: *Carica*, *Euphorbia canariensis* y *Fouquieria columnaris*, fueron excluidos de la suma por sitio como una medida conservadora en caso de no contar con un valor de densidad de la madera específico.

Adicionalmente, se llevó a cabo una revisión de densidades de área basal por CGL con el fin de identificar aquellos CGL con valores superiores atípicos, imposibles de ocurrir y disminuir errores en la estimación para este reservorio.

Consiste con el reservorio de biomasa aérea, en la sección de arbolado (bosques y selvas), cada una de las ramas y tallos corresponde a un registro en la base de datos del INFyS. En la sección de vegetación mayor (otras comunidades áridas y semiáridas) cada registro corresponde a un individuo muerto en pie, el cual puede poseer una o varias ramas (todas muertas), las cuales son registradas como otra variable en la base de datos del INFyS, principalmente para el ciclo del remuestreo (2009-2014).

### b) Método de estimación del carbono a nivel de sitio

Al igual que en el procedimiento para estimar el carbono de la biomasa aérea, la unidad de muestreo considerada para estimar el carbono de los registros muertos en pie de la sección de arbolado y vegetación mayor es el sitio de 400 m<sup>2</sup> de los CGL del INFyS. Primero se partió de la estimación del carbono de los muertos en pie a nivel de registro. Posteriormente, se procedió a obtener el carbono de la madera muerta para el subcomponente de muertos en pie a nivel de sitio, lo cual se logró a través de la suma del carbono de todos los registros muertos en pie para cada sitio (**Figura 32**).



**Figura 32.** Estimación de la biomasa de la madera muerta total (muertos en pie) a nivel de sitio

Aquellos registros muertos en pie pertenecientes a los taxones de exclusión fueron omitidos en la suma total por sitio, es decir, si su valor de densidad de la madera no fue específico para la especie,

entonces se omitió de la suma por sitio. No se asignó un valor promedio de densidad de la madera por ecorregión (nivel II) para evitar una sobrestimación en el cálculo de la biomasa.

Finalmente, el carbono por sitio se estimó por unidad de área a nivel conglomerado.

#### **9.1.1.3.2. Métodos de estimación del carbono en los tocones**

El procedimiento general para estimar las reservas de carbono de la madera muerta de los tocones del INFyS (remuestreo) se realizó en dos niveles: a) observación o registro y b) sitio y conglomerado. A continuación, se aborda el método para los dos niveles.

##### **a) Método de estimación de carbono a nivel de observación.**

El procedimiento de cálculo a nivel de observación de los tocones registrados en los sitios del INFyS se llevó a cabo a través del SEByC, mediante un algoritmo que incluye los siguientes pasos:

1. Reconocimiento de criterios de asignación y selección.
2. Asignación de modelos simples de volumen cilíndrico.
3. Asignación de densidades de la madera.
4. Asignación de una fracción de carbono.
5. Exclusiones y casos especiales.

1.- Reconocimiento de criterios de asignación y selección. Insumos centrales y complementarios.

La base de datos de remuestreo (2009-2014) del INFyS contiene tocones registrados por sitio en la sección de arbolado para bosque y selvas, y vegetación mayor para otras comunidades. Esta base de datos de registros contenidos en el SEByC contiene similares controles de calidad y estandarización que los registros vivos y muertos en pie y se resumen enseguida:

- Condición Tocón. Todos aquellos registros de tocones con marca (3) y sin marca (4). No obstante que el registro de tocones distingue dos tipos, con marca y sin marca de aprovechamiento, el uso de ellos en la estimación para este sub-almacén es indistinto.
- Diámetro normal mínimo. Se aseguró que todos los tocones contengan un diámetro normal mínimo de 10 cm. A los registros con diámetro mayor a cero y menor a 10 cm se les conservó su DN.
- Diámetro normal máximo. Se aseguró que ningún tocón tuviera un diámetro normal mayor al registrado para un árbol vivo, de tal manera que se utilizaron los registros vivos estandarizados como criterio de diámetro normal máximo.
- Altura total mínima. Se aseguró que todos los tocones contaran con al menos una altura total mínima de 0.3 m. A los registros de tocones con valor cero, NULL o 999 se les asignó un valor de 0.3 m de altura.
- Altura total máxima. Se aseguró que todos los tocones tuvieran una altura máxima menor a 1.3 m. Para ello, a todos los registros con altura de 1.3-12.9 m se les multiplicó por 0.1, y a los registros con altura de 13-80 m se multiplicó por 0.01.
- Nombre científico depurado. A aquellos registros de tocones que presentaron nombre se les verificó que éste estuviera correctamente escrito y aceptado. Todos aquellos tocones sin identidad de nombre fueron estandarizados como desconocidos.
- Clase INEGI. Se refiere a que cada registro de tocón posee una clase al nivel más desagregado de acuerdo con el sistema de clasificación de uso de suelo y vegetación del INEGI.
- Ecorregión. De manera análoga que el inciso anterior, cada registro de tocón posee una ecorregión al nivel más desagregado (nivel 4) de acuerdo con las ecorregiones publicadas por la CONABIO (.

Los criterios de asignación (relacionados con la clase INEGI, ecorregión y catálogo de nombres) utilizados para las bases de datos de valores de densidad de madera y la de fracciones de carbono

fueron los mismos establecidos en el método de estimación de carbono en los Muertos en Pie (Ver 9.1.1.3.3.1).

## 2. Asignación de modelos simples de volumen cilíndrico.

Para la obtención de la biomasa de cada uno de los registros de tocones, se estimó el volumen a partir de modelos simples para cilindros, en función del DN y la altura total, con base en datos del remuestreo del INFyS:

$$(V = (d^2 \times h) / 4\pi)$$

Dónde:

V = Volumen (m<sup>3</sup>)

d = Diámetro (m)

h = Altura (m)

## 3. Asignación de densidades de la madera.

Una vez obtenido el volumen de los tocones se procedió a estimar la biomasa. Para ello, el volumen estimado se ponderó por su respectiva densidad de madera. El procedimiento utilizado fue análogo al seguido para los muertos en pie (Ver sección 9.1.1.3.3.1).

La densidad de la madera asignada a los tocones fue ponderada por el estado de putrefacción registrado en campo. Así, a los registros de tocones con el menor grado de putrefacción se les asignó 5/6 de la densidad de la madera, mientras que a los registros de tocones con el mayor grado de putrefacción se le asignó 1/6 de la densidad de la madera (**Cuadro 35**).

**Cuadro 35.** Factor de ponderación de la densidad de la madera de acuerdo con el estado de putrefacción de los tocones

Clave	Descripción	Factor de ponderación
<b>A</b>	Tocón madera verde (árbol recién cortado)	5/6
<b>B</b>	Tocón madera seca (madera dura sin evidencia de descomposición)	4/6
<b>C</b>	Tocón madera seca (madera en proceso de descomposición, pero aún difícil de desprenderse del suelo)	3/6
<b>D</b>	Tocón seco (madera muy descompuesta y de fácil extracción del sustrato)	2/6
<b>E</b>	Tocón descompuesto (evidencia de tocón)	1/6

## 4. Asignación de una fracción de carbono

Para obtener los contenidos de biomasa por registro de tocón se asignaron fracciones de carbono como se describe a continuación:

- Se asignó una fracción de carbono a los registros de tocones identificados a nivel de especie.
- Se asignó el valor promedio de las fracciones de carbono conocidas a los registros de tocones identificados a nivel de especies, género e indeterminados sin fracción de carbono.

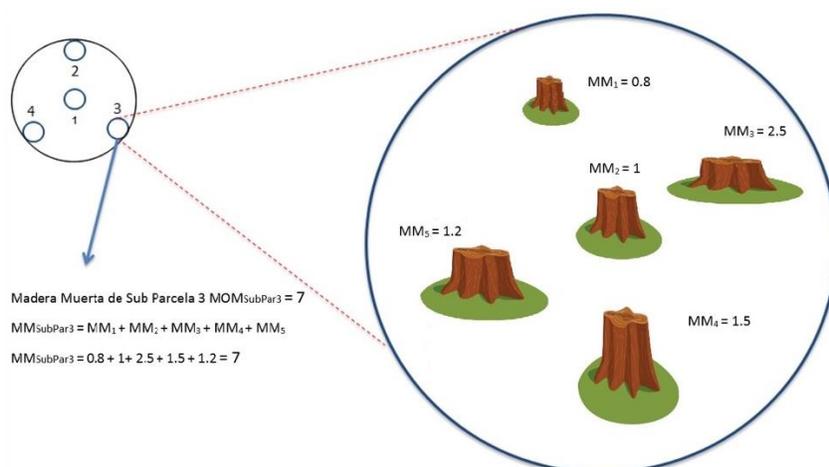
## 5. Exclusión y casos especiales

Los registros de tocones identificados y pertenecientes a las familias Agavaceae, Cyatheaceae, Cactaceae, Nolinaceae, Cyclanthaceae, Arecaceae, Poaceae, Cycadaceae, Nolinaceae y el siguiente género y especies: *Carica*, *Euphorbia canariensis* y *Fouquieria columnaris*, fueron excluidos de la

suma por sitio como una medida conservadora en caso de no contar con un valor de densidad de la madera específico.

#### **b) Metodo de estimación de carbono a nivel de sitio.**

Al igual que el procedimiento para estimar el carbono en la biomasa aérea, la unidad de muestreo considerada para estimar el carbono de los registros de tocones de la sección de arbolado y vegetación mayor es el sitio de 400 m<sup>2</sup> de los CGL del INFyS. Primero se partió de la estimación del carbono de los tocones a nivel de registro. Posteriormente, se procedió a obtener el carbono de la madera muerta para el subcomponente de tocones a nivel de sitio, lo cual se logró a través de la suma del carbono de todos los registros de tocones de cada sitio del ciclo de remuestreo del INFyS (**Figura 33**).



**Figura 33.** Estimación de la biomasa de la madera muerta total (tocones) a nivel de sitio

Aquellos registros de tocones pertenecientes a los taxones de exclusión fueron omitidos en la suma total por sitio, es decir si su valor de densidad de la madera no es específico para la especie entonces se omitió de la suma por sitio, para obtener una estimación conservadora.

#### **9.1.1.3.3. Método de estimación del carbono del material leñoso caído.**

El procedimiento general para estimar el contenido de carbono en la madera muerta del material leñoso caído (MLC) de la etapa de remuestreo del INFyS (2009-2014) se realizó en dos niveles: a) observación o registro y b) sitio.

Cabe destacar que en el ciclo de muestreo del INFyS (2004-2009) no se llevó a cabo el registro de material leñoso caído. Por tal motivo, los procesos que se describen en los siguientes párrafos solo aplican para el ciclo de remuestreo del INFyS (2009-2014).

#### **a) Método de estimación del carbono por unidad de área**

La estimación de carbono del material leñoso caído se realizó directamente por conglomerado o unidad de área a partir del conteo de partículas categorizadas por su diámetro en transectos específicos (ver **Cuadro 36**). La suma total de partículas por categoría en la longitud total del transecto (20 m para las categorías de finos y regulares y de 60 m para las categorías de medianos y gruesos) por sitio del INFyS, preferentemente en el sitio 3 cuando es accesible, de lo contrario en el sitio 4, 2 y 1, se consideró para calcular la densidad de carbono por hectárea.

**Cuadro 36.** Clasificación del combustible por tamaño y tiempo de respuesta o retardo

Categoría	Diámetro (cm)	Tiempo de respuesta	Longitud total (por sitio)	Variable registrada	Fórmula de estimación de C
<b>Finos</b>	<= 0.5	1 hora	20 m (5 m x 4)	Frecuencia longitud transecto por del	$C = \frac{k * GE * dcp * f * c}{L}$
<b>Regulares</b>	0.51 – 2.5	10 horas	20 m (5 m x 4)	Frecuencia longitud transecto por del	
<b>Medianos</b>	2.51 – 7.5	100 horas	60 m (15 m x 4)	Frecuencia longitud transecto por del	
<b>Gruesos</b>	> 7.5	1000 horas	60 m (15 m x 4)	Diámetro partícula interceptada de	$C = \frac{k * GE * \sum_1^n d_i^2 * c}{L}$

Se realizó un control de calidad de los insumos y sus variables para su uso en la estimación de carbono a nivel de sitio (ver sección de Insumos para mayor detalle). Enseguida se muestra un resumen de las variables de cálculo y su control de calidad a nivel de observación o registro:

- Categoría de MLC de acuerdo con la clase diamétrica en finos, regulares, medianos y gruesos (**Cuadro 36**).
- Frecuencia registrada por categoría diamétrica en los últimos 5 m de cada transecto para las categorías de finos y regulares. Para la categoría de medianos se registra la frecuencia a lo largo del transecto de 15 metros.
- Diámetro para la categoría gruesa. Los diámetros mayores o iguales a 75 cm se multiplicaron por 0.1 y aquellos mayores o iguales a 750 se multiplicaron por 0.01.
- Grado de putrefacción registrado únicamente para la categoría gruesa (mayor a 7.5 cm).
- Longitud total del transecto por categoría. Suma de la longitud de los 4 transectos para un total de 20 m para finos y regulares y 60 m para medianos y gruesos (**Cuadro 36**).
- Porcentaje de pendiente de cada transecto. Para cada uno de los 4 transectos de 15 m se registró un porcentaje de pendiente promedio. No obstante, la longitud de cada uno de los transectos corresponde a distancias ortogonales, por tanto, en la fórmula de estimación de C se omitió el factor de corrección de la pendiente.

Cabe mencionar que al considerar al sitio como accesible, se asume que la longitud total de los transectos por categoría de MLC es constante, es decir en el INFyS no se registran sitios parcialmente inaccesibles, en donde la longitud de alguno de los transectos sea omitida de la suma total por sitio. Se llevó a cabo un control de calidad al respecto, para asegurar que cada CGL y su respectivo sitio de MLC fuera accesible y que, por lo tanto, se consideró siempre la totalidad de la longitud del transecto por categoría de MLC. Se reconocieron aquellos transectos con ausencia y presencia de registros de MLC, cuyo valor es igual a cero y mayor a cero respectivamente. No obstante, en ambas situaciones la longitud del transecto se contabilizó en su totalidad (para más detalles revisar la sección de Insumos).

La estimación de la densidad de carbono del MLC por hectárea se realizó con base en la propuesta de Morfín-Ríos *et al.* (2012), la cual reporta resultados por hectárea como unidad de superficie. Este modelo considera dos vías de estimación de carbono en el MLC, uno para MLC de las partículas menores o iguales a 7.5 cm (finas, regulares y medianas) a las cuales se les registra su frecuencia, y el otro para las partículas mayores a 7.5 cm (gruesas) a las cuales se les registra su diámetro y grado de putrefacción.

El carbono almacenado en el MLC con diámetros mayores a 7.5 cm (gruesos) se estimó con la ecuación de Van Wagner (1982), como lo sugiere Morfín-Ríos *et al.* (2012):

$$C = \frac{k * GE * \sum_1^n d_i^2 + c}{L}$$

Dónde:

- C*: Materia orgánica muerta del MLC (t ha<sup>-1</sup>)
- k*: Constante equivalente (1.234)
- GE*: Gravedad específica
- d<sub>i</sub>*: Diámetro de cada pieza intersectada *i*
- n*: Número de piezas intersectadas a lo largo del transecto
- L*: Longitud del transecto
- c*: Factores de corrección de la pendiente en una base horizontal

Dónde:  $c = \sqrt{1 + \left(\frac{\% \text{ pendiente}}{100}\right)^2}$

La gravedad específica se obtuvo de la misma base de datos de la densidad de la madera descrita en la sección de Insumos. Las densidades de la madera se ponderaron en función del estado de putrefacción. El MLC mayor a 7.5 cm (grosso) con el menor grado de putrefacción (1) se le asignó 5/6 de la densidad de la madera, mientras que el MLC con el mayor grado de putrefacción (5) se le asignó 1/6 de la densidad de la madera (**Cuadro 37**).

**Cuadro 37.** Factor de ponderación de la densidad de la madera de acuerdo con el estado de putrefacción del MLC mayor a 7.5 cm de diámetro

Grado de Putrefacción	Factor de ponderación
1	5/6
2	4/6
3	3/6
4	2/6
5	1/6

El carbono almacenado en el MLC con diámetros menores o iguales a 7.5 cm (finos, regulares y medianos) se estimó de forma análoga al MLC con diámetros mayores a 7.5 cm, utilizando los valores de gravedad específica de la base de datos de la densidad de madera descrita en la sección de insumos. Considerando que al MLC menor o igual a 7.5 cm (finos, regulares y medianos) no se le registró el estado de putrefacción, se le asignó el valor de densidad de la madera sin ponderación.

Para obtener el diámetro cuadrático promedio (DCP) se utilizó la base de datos de supervisión del INFyS 2010, particularmente para esa base y año se registraron los diámetros de las partículas menores o iguales a 7.5 cm. El procedimiento consistió en obtener promedios por categoría de MLC (finos, regulares y medianos) por ecorregión a nivel 4, 3, 2, 1 y país. Posteriormente estos valores promedio fueron asignados al MLC de partículas finas registradas en el remuestreo del INFyS de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Se asignó el valor promedio de diámetro respectivo por categoría de MLC por ecorregión nivel 4 (nivel más desagregado de ecorregiones),
- En ausencia del valor calculado en el inciso anterior se utilizó el respectivo valor promedio por ecorregión nivel 3, y así sucesivamente hasta llegar al valor calculado a nivel de país.

Se utilizó esta aproximación debido a que en el remuestreo del INFyS no se miden los diámetros de las piezas menores o iguales a 7.5 cm.

#### **9.1.1.3.3.4. Madera Muerta. Integración de muertos en pie, tocones y material leñoso caído para su representación a nivel de conglomerado (hectárea).**

Con las estimaciones de carbono a nivel de observación y sitio para muertos en pie y tocones, y por CGL para MLC se obtuvo el carbono total de madera muerta mediante lo siguiente:

- a) Las densidades de carbono de la madera muerta de los árboles muertos en pie y tocones fueron extrapoladas a toneladas de carbono por hectárea a partir de la superficie de muestreo de 0.16 ha cuando los 4 sitios fueron accesibles.
- b) Las densidades de carbono calculadas para cada una de las categorías y estratos de muertos en pie, tocones y MLC fueron integradas mediante una suma simple.

Los contenidos de carbono en la madera muerta se estimaron con datos del ciclo de remuestreo del INFyS (2009-2014) que cuenta con los subcomponentes de muertos en pies, tocones y material leñoso caído.

#### **9.1.1.3.4. Resultados de la estimación del carbono de la Madera Muerta**

##### **9.1.1.3.4.1. Resultados de la estimación del carbono Muertos en Pie**

Los resultados se presentan de acuerdo con los 2 niveles propuestos en el método: a) observación y b) unidad de muestreo secundario o sitio.

##### **a) Resultados de la estimación de carbono a nivel de observación o registro.**

La estimación de biomasa y carbono para los registros muertos en pie fueron realizadas para el muestreo (2004-2007) y remuestreo (2009-2014) y forma parte de los registros integrados en la tabla de resultados de la biomasa aérea para los mismos ciclos del INFyS.

Las tablas de resultados a nivel de observación se encuentran disponibles en los siguiente vínculos [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono\\_MultitemporalClaseI\\_PCC](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono_MultitemporalClaseI_PCC) y [Estimacion\\_C\\_BA\\_BS\\_MP\\_Toc\\_Muestreo.csv](#) y se pueden distinguir del resto de los registros por su condición tipificada como "muertos en pie".

##### **b) Resultados de la estimación de carbono a nivel de nivel de sitio y conglomerado.**

La biomasa y carbono estimado por registro muerto en pie de arbolado y vegetación mayor (para todas sus ramas) se sumó por sitio del INFyS. Estos resultados para el remuestreo contienen 104,880 sitios correspondientes a los 26,220 CGL de la malla original del INFyS, cada uno de ellos se encuentra debidamente tipificados como accesibles con valor y sin valor (excluidos atípicos) e inaccesibles sin valor (NULL). Estos pueden consultarse en: [Tipificacion\\_CGLs\\_Sitios\\_MyRM.xlsx](#).

Se generó una tabla con las estimaciones a nivel de CGL (t/ha) que se encuentra disponible en el siguiente vínculo: [tC\\_MM\\_RM.xlsx](#), la cual contiene el carbono en la biomasa de muertos en pie.

##### **9.1.1.3.4.2. Resultados de la estimación de carbono en Tocones.**

Los resultados se presentan de acuerdo con los 2 niveles propuestos en el método: a) observación y b) unidad de muestreo secundario o sitio.

##### **a) Resultados de la estimación de carbono a nivel de observación o registro.**

La estimación de biomasa y carbono para los registros tocones fueron realizadas únicamente para el remuestreo (2009-2014) y forma parte de los registros integrados en la tabla de resultados de la biomasa aérea para el mismo ciclo del INFyS.

Las tablas de resultados a nivel de observación se encuentran disponibles en los siguientes vínculos [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidoCarbono\\_MultitemporalClaseIPCC/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidoCarbono_MultitemporalClaseIPCC/) y [Estimacion\\_C\\_BA\\_BS\\_MP\\_Toc\\_Muestreo.csv](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidoCarbono_MultitemporalClaseIPCC/Estimacion_C_BA_BS_MP_Toc_Muestreo.csv) y se pueden distinguir del resto de los registros por su condición tipificada como “tocón”.

#### **b) Resultados de la estimación de carbono a nivel de sitio y conglomerado**

La biomasa y carbono estimado para cada registro de tocones de la sección de arbolado y vegetación mayor se sumó por sitio del INFyS. Estos resultados para el remuestreo contienen 104,880 sitios correspondientes a los 26,220 CGL de la malla original del INFyS, cada uno de ellos se encuentra debidamente tipificado como accesible con valor y sin valor (excluidos atípicos) e inaccesible sin valor (NULL). Lo anterior, puede consultarse en: [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidoCarbono\\_MultitemporalClaseIPCC/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidoCarbono_MultitemporalClaseIPCC/).

Se generó una tabla a nivel de CGL que se encuentra en el siguiente vínculo: [tC\\_MM\\_RM.xlsx](#), la cual contiene el carbono de los tocones.

#### **9.1.1.3.4.3. Resultados Material del Leñoso Caído**

Los resultados del material leñoso caído, fue estimado a nivel de hectárea, dadas las ecuaciones para calcular el carbono a partir del conteo y medición de partículas en transecto.

#### **a) Resultados de la estimación de carbono por conglomerado.**

De los 26,220 CGL del remuestreo del INFyS, un total de 22,192 CGL mostraron resultados de carbono para material leñoso caído. La base de datos de estos resultados se encuentra disponible en el siguiente vínculo: [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidoCarbono\\_MultitemporalClaseIPCC/](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidoCarbono_MultitemporalClaseIPCC/).

Esta información en conjunto con el archivo [Tipificacion\\_CGLs\\_Sitios\\_MyRM.xlsx](#) se complementa para identificar los CGL inaccesibles con y sin valor (excluidos atípicos) e inaccesibles sin valor (NULL).

#### **9.1.1.3.5. Integración de los subcomponentes (muertos en pie, tocones y material leñoso caído) de la base de datos de Madera Muerta**

Como se mencionó anteriormente, la disponibilidad de información completa del almacén de madera muerta se posee únicamente en el remuestreo del INFyS (2009-2014). Por lo tanto, los contenidos de carbono de los muertos en pie, tocones y material leñoso caído fueron integrados en una base de datos conjunta a nivel de conglomerado (hectárea), para ello fue necesario realizar las siguientes acciones:

- Se utilizaron los contenidos de carbono total de los sitios de los muertos en pie y tocones y se estimaron a nivel de CGL.
- Se sumaron los contenidos de carbono por hectárea de los muertos en pie, tocones y material leñoso caído para obtener un valor integrado para madera muerta en su conjunto. La base de datos de los contenidos de carbono de la madera muerta se incluye en el siguiente vínculo:

#### **9.1.1.4. Mantillo. Hojarasca y capa de fermentación.**

##### **9.1.1.4.1. Definición del Carbono de la Biomasa Subterránea**

El mantillo incluye 2 subcomponentes o sub-almacenes: a) hojarasca (HO) y b) capa de fermentación (F). El subcomponente de HO es la capa superior del horizonte orgánico del suelo resultado de hojas y acículas recientemente caídas con una mínima alteración por la descomposición que conservan en mayor medida su estructura original. El subcomponente de la F

se encuentra por debajo de la capa HO, donde se encuentra la materia orgánica que ha perdido completamente su estructura original y se encuentra en diferentes estados de descomposición.

#### **9.1.1.4.2. Insumos empleados para la estimación del carbono en Mantillo**

El insumo central para la estimación del carbono del mantillo es el remuestreo del INFyS (2009-2014), en cuyo ciclo se registró y colectó información de hojarasca y capa de fermentación. También se recurrió a las muestras de hojarasca y capa de fermentación de los años 2011 y 2012 para utilizar la información de pesos secos. El mantillo, al igual que el material leñoso caído (MLC) de la MM se colectó y registró preferentemente en el sitio 3 en caso de estar accesible, de lo contrario, se colectó en los sitios 4, 2 o 1. En la sección referente a la BA se describen de manera exhaustiva los insumos.

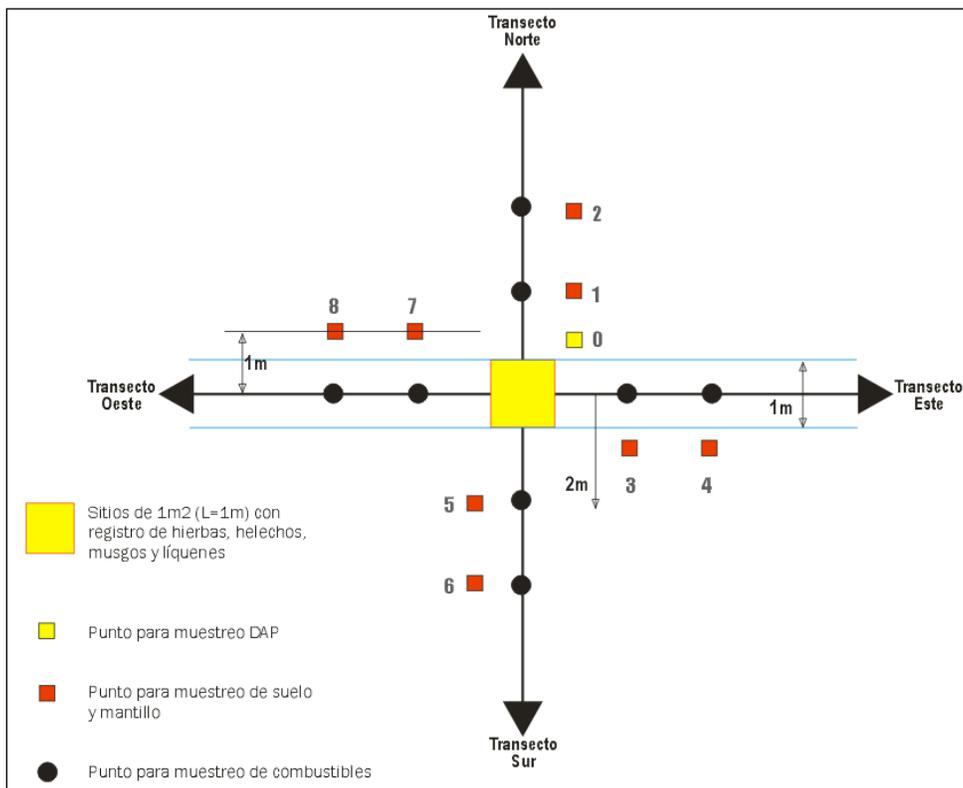
#### **9.1.1.4.3. Método de estimación del carbono del Mantillo**

El procedimiento general para estimar los contenidos de carbono del mantillo parte de la estimación de biomasa y carbono de la capa de hojarasca y la capa de fermentación del remuestreo (2009-2014) del INFyS, el cual se realiza en dos niveles sucesivos de estimación: a) observación o registro y b) conglomerado (1 ha).

##### **a) Método de estimación del carbono del Mantillo a nivel de observación.**

Durante la fase de campo, en un sitio se colectó y registró información de campo para 8 subsitios (cada uno con una superficie de 0.9 m<sup>2</sup>), dos por cada uno de los transectos establecidos para el registro del material leñoso caído. La distribución de los 8 subsitios se muestra en la **Figura 34**. En cada subsitio se registró:

- El tipo de material o procedencia de hojarasca y la capa de fermentación
- El espesor de la hojarasca (Eho) (mm) y capa de fermentación (Efe) (mm)
- El peso total de la hojarasca (Wth) (g) y capa de fermentación (Wtf) (g).



**Figura 34.** Esquema general del diseño de muestreo al interior de un solo sitio (preferentemente el sitio 3) de cada conglomerado del INFyS, utilizado para registro y colecta de material leñoso caído, suelo y mantillo (hojarasca y capa de fermentación)

El material se colectó en bolsas de 20x30 cm. En aquellos casos donde la cantidad de hojarasca o capa de fermentación era considerable, se obtuvieron sub-muestras representativas. Se registró el peso de la sub-muestra de hojarasca ( $W_{mh}$ ) y de la capa de fermentación ( $W_{mf}$ ) y se calcularon los pesos para toda la muestra.

Como se mencionó anteriormente, solo para algunas muestras de los años 2011 y 2012 se pudo estimar la densidad aparente de la hojarasca y de la capa de fermentación. Para estimar las densidades aparentes, se obtuvo el peso seco constante de la hojarasca ( $W_{sh}$ ) y de la capa de fermentación ( $W_{sf}$ ) considerando el peso de la muestra, mediante secado de las muestras ( $W_{th}$  y  $W_{tf}$ ) en estufa hasta peso constante. A continuación, se procedió a registrar el peso seco constante de la hojarasca ( $W_{fh}$ ) y de la capa de fermentación ( $W_{ff}$ ) considerando el peso total:

$$W_{fh} = W_{th} * (W_{sh} / W_{mh})$$

$$W_{ff} = W_{tf} * (W_{sf} / W_{mf})$$

Y posteriormente, se estimó la densidad aparente de la hojarasca y de la capa de fermentación con las siguientes ecuaciones:

$$D_{ah} = (W_{fh}) / ((E_{ho}/10) * 900)$$

$$D_{af} = (W_{ff}) / ((E_{fe}/10) * 900)$$

El carbono total en el reservorio de hojarasca a nivel de la muestra en campo se obtuvo mediante la suma de la densidad aparente de la hojarasca y de la capa de fermentación ponderada por la fracción de carbono (0.48). Se realizaron controles de calidad para identificar aquellos subsitios con valor cero y aquellos subsitios inconsistentes cuya superficie no fue considerada para estimar la densidad aparente.

También se estimó el carbono del mantillo para aquellos conglomerados que únicamente se les registró el peso húmedo. Previamente se realizaron controles de calidad a los registros de conglomerados con peso húmedo registrado en campo. La integración de estos registros a la base de datos se describe en la sección siguiente.

**b. Método de estimación del carbono de Mantillo a nivel de conglomerado.**

En cada uno de los subsitios muestreados, se estimó la densidad aparente de la hojarasca (*Dah*) y la densidad aparente de la capa de fermentación (*Daf*) a nivel de los sub-sitios. Por lo tanto, la *Dah* y la *Daf* se agregaron a nivel de sitio sumando sus respectivos valores a nivel de sitio, de manera que la superficie total de muestreo a nivel de sitio idealmente fue de 7.2 m<sup>2</sup> (0.9m<sup>2</sup> x 8 parcelas). No obstante, al considerar que únicamente se cuenta con un sitio por conglomerado, la superficie muestreada se extrapola a nivel de conglomerado.

Cabe mencionar que los pesos secos obtenidos en laboratorio para los años 2011 y 2012 no necesariamente se consideraron para los 8 subsitios. Por lo tanto, se desconocía si no se había obtenido el peso seco de una muestra colectada en campo o si ese subsitio específico no contenía la respectiva hojarasca y capa de fermentación y de este modo su valor debiera considerarse como cero. Este dato es importante ya que si únicamente se consideran aquellos subsitios a los cuales se les calculó el peso seco se estaría sobreestimando el almacén. Para cubrir este vacío de información, se llevó a cabo una revisión y depuración de la base de datos de los conglomerados, sitios y subsitios, bajo el supuesto de que la estimación a nivel de UMS debe invariablemente considerar la superficie de los 8 subsitios, es decir, 7.2m<sup>2</sup> para cada conglomerado/sitio. Para ello se realizaron las acciones que se describen en los siguientes párrafos.

Aquellos conglomerados cuyo levantamiento se llevó a cabo en el formato "Sin cubierta vegetal" no consideraron el registro o colecta de información, por lo que se asumió como 0 (cero).

Cuando el conglomerado fue accesible se asumió que en al menos uno de los sitios se registró la información indicada en el subsitio, por lo que la ausencia de dicha información se considera como cero. No debe haber conglomerados accesibles con subsitios o transectos inaccesibles. La base de datos incluye todos los conglomerados accesibles, sus 4 transectos y sus 8 subsitios con su condición expresa de un valor igual o mayor a cero.

A los conglomerados a los cuales se cuantificó su peso seco se les completó sus 8 subsitios. Estos subsitios añadidos que no se les cuantificó su peso seco se revisaron para detectar si carecían de muestra o contenían un registro de peso húmedo. En el primer caso, si carecía de muestra de acuerdo con el valor de campo, se les asignó el valor de cero para su correspondiente peso seco. En el segundo caso, cuando se registró un peso húmedo (del cual no se tiene peso seco) se le estimó un peso seco considerando el promedio del porcentaje de humedad de los demás subsitios y se le restó al peso húmedo.

La base de datos resultante de los procedimientos anteriormente descritos fue utilizada para obtener promedios de porcentaje de humedad por clase de vegetación. Enseguida se describe como se llevó a cabo:

1. En primer lugar, se obtuvieron los porcentajes de humedad de los conglomerados que se les estimó el peso seco en laboratorio.
2. Se identificó el tipo de vegetación de campo de acuerdo con la etiqueta de la Matriz Multitemporal de clases de vegetación y uso de suelo del INEGI para un año antes del registro de recolecta de información de campo. Esto para evitar que el contenido de carbono del mantillo se asigne erróneamente a una clase post-cambio.
3. Estos CGL se agruparon en las clases de vegetación más generales con el fin de aumentar el tamaño de muestra y representar la heterogeneidad de los ecosistemas terrestres nacionales.
4. Se calcularon valores promedio de porcentaje de humedad por clase de vegetación (mismas clases a las utilizadas en el INEGyCEI de la 6ª CN).



Clase IPCC (F)	Nombre IPCC (F)	Clase BUR (F)	Nombre BUR (F)	Tamaño de muestra (F)	Promedio (F)	Desviación Estándar (F)	Promedio Consensuado (F)	Valor tomado de clase IPCC
TF	Tierras Forestales	BC	Bosque Cultivado				0.15	* TF
TF	Tierras Forestales	BCO	Bosque de Coníferas	119	0.149	0.125	0.15	
TF	Tierras Forestales	BE	Bosque de Encino	130	0.145	0.129	0.15	
TF	Tierras Forestales	BM	Bosque Mesófilo de Montana	23	0.173	0.162	0.17	
TF	Tierras Forestales	EOTL	Especial Otros Tipos Lenoso	1	0.133		0.15	* TF
TF	Tierras Forestales	MXL	Matorral Xerófilo Lenoso	7	0.197	0.191	0.15	*TF
TF	Tierras Forestales	SC	Selva Caducifolia	20	0.177	0.128	0.18	
TF	Tierras Forestales	SP	Selva Perennifolia	80	0.144	0.133	0.14	
TF	Tierras Forestales	SSC	Selva Subcaducifolia	52	0.173	0.135	0.17	
TF	Tierras Forestales	VHL	Vegetación Hidrófila Lenoso				0.15	* TF
P	Praderas	EOTnL	Especial Otros Tipos No Lenoso				0.20	* P
P	Praderas	MXnL	Matorral Xerófilo No Lenoso	1	0.274		0.20	* P
P	Praderas	P	Pastizal	34	0.199	0.124	0.20	
P	Praderas	VHnL	Vegetación Hidrófila No Lenoso	1	0.030		0.20	* P
TA	Tierras Agrícolas	AGR_AN	Agrícola Anual	9	0.143	0.144	No aplica	
TA	Tierras Agrícolas	AGR_PER	Agrícola Perenne	4	0.169	0.187	No aplica	
AH	Asentamientos	AH	Asentamientos	1	0.056		No aplica	
H2O	Humedales	ACUI	Acuícola				No aplica	
H2O	Humedales	H2O	Agua				No aplica	
OT	Otras Tierras	OT	Otras Tierras				No aplica	
TFd	Tierras Forestales			3	0.124	0.081	No aplica	
* Porcentaje de humedad por Clase IPCC								
Clase IPCC (F)	Tamaño de muestra (F)	Promedio (F)	Desviación Estándar (F)					
TF	432	0.153	0.132					
P	36	0.196	0.125					
TA	13	0.151	0.151					
AH	1	0.056						
TFd	3	0.124	0.081					

Figura 36. Porcentajes de humedad promedio de la capa de fermentación por clase de vegetación BUR e IPCC

#### 9.1.1.4.4. Resultados de la estimación del carbono del Mantillo

De manera análoga a los demás reservorios, los resultados se presentan a nivel de a) observación y b) CGL. La base de datos de contenidos de carbono se presenta para el año anterior puntual en la que se levantó la información del remuestreo del INFyS.

##### a. Resultado de la estimación del carbono a nivel de observación o registro.

En la **Cuadro 38** se muestran los principales resultados de los conglomerados utilizados para la estimación del contenido de carbono en el mantillo. La cantidad de conglomerados con información de mantillo para los años 2009 al 2012 fue de 16,701, con un total de 127,473 subsitios de los 133,608 subsitios potenciales para mismos conglomerados. En los años 2013 y 2014 no se recolectó información de mantillo y suelos, por lo tanto, esta información se consideró como no disponible.

A través del control de calidad se pudieron identificar los siguientes casos, los cuales fueron expresamente tipificados en la base de datos a nivel de observación tanto para la hojarasca como para la capa de fermentación:

- Tipificación 0 (cero) cuando la profundidad, el peso total y el peso muestra es igual a cero en los 3 campos.
- Tipificación 1 (null) cuando hay inconsistencias en los campos profundidad, el peso total y el peso muestra.
- Tipificación 2 (null) cuando en peso de la muestra es mayor al peso total
- Tipificación 3 (null) cuando el peso seco es mayor al peso húmedo
- Tipificación 10 cuando no hay error en los campos se mantiene el valor de campo y de laboratorio, pesos húmedos y pesos secos respectivamente.

**Cuadro 38.** Conglomerados muestreados (accesibles) con información de mantillo (hojarasca y capa de fermentación)

MANTILLO	Conglomerados muestreados/no muestreados/ totales (Con base en los 26,220 cgl)	Cgls/Subsitios totales campo INFyS	Cgls/Subsitios totales INFyS (8 subsitios por cgl)	Cgls/Subsitios con peso seco INFyS (Consultoría externa)	Cgls/Subsitios con peso seco INFyS (8 subsitios por cgl)
<b>2009</b>	4,303 / 156* / 4,459	4,303 / 33,902	4,303 / 34,424		
<b>2010</b>	3,930 / 108 / 4,038	3,930 / 31,371	3,930 / 31,440		
<b>2011</b>	4,237 / 136 / 4,373	4,237 / 33,806	4,237 / 33,896	957 / 6,681	957 / 7,656
<b>2012</b>	4,231 / 62 / 4,293	4,231 / 28,394	4,231 / 33,848	353 / 2,540	353 / 2,824
<b>2013</b>	3,822 / 207 / 4,029	NA	NA		
<b>2014</b>	1,880 / 1,817 / 3,697	NA	NA		
<b>Sin año</b>	0 / 1,331 / 0				
<b>Totales</b>	22,409 / 3,811** / 26,220	16,701 / 127,473	16,701 / 133,608	1,310 / 9,221	1,310 / 10,480

\*Incluye 6 conglomerados muestreados pero que no tienen información capturada de mantillo. \*\* Se excluyen los 6 cgl de la sumatoria ya que fueron muestreados, por lo tanto, se debieran sumar a los 4,303.

Finalmente 16,419 subsitios contienen información consistente resultante del control de calidad implementado. En el vínculo Estimacion\_C\_Mantillo\_OBS.csv se incluye la base de datos bruta con 133,608 registros.

#### **b. Resultado de la estimación del carbono a nivel CGL.**

La base de datos con 16,419 CGL netos se incluye en el vínculo Estimación\_C\_Mantillo\_CGL.csv. Para fines de la asignación de los contenidos de carbono en el Mantillo, la base de datos se integró a nivel de los 26,220 CGL. Se incluye el número del CGL, el año de levantamiento, el contenido de carbono expresado en toneladas por hectárea y la clase de vegetación. Esta base de datos se incluye en el siguiente vínculo:  
[http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono\\_MultitemporalClaseI PCC](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono_MultitemporalClaseI PCC)

#### **9.1.1.5. Carbono Orgánico en Suelos**

##### **9.1.1.5.1. Definición de Carbono Orgánico en el Suelo (COS)**

En esta sección se Incluye el carbono orgánico contenido en suelos minerales hasta una profundidad de 30 cm y aplicada coherentemente a lo largo de la serie temporal 2000-2016. Las raíces finas vivas y muertas y la materia orgánica muerta que se encuentran dentro del suelo y que miden menos que el límite de diámetro mínimo (sugerido 2 mm) para raíces y materia orgánica muerta se incluyen con la materia orgánica del suelo cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente. El valor por defecto para la profundidad del suelo es de 30 cm.

##### **9.1.1.5.2. Insumos empleados para la estimación del COS**

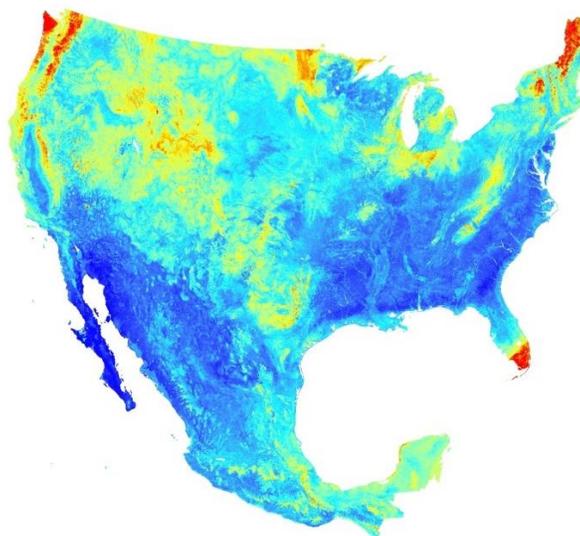
Los principales insumos utilizados para la estimación de COS fueron:

- Mapa de carbono orgánico en suelo generado por la Universidad de Delaware (Guevara et al., 2020a,b). Profundidad de 0-30 cm, pixel 250m, periodo 1991-2010, kilogramos por m<sup>2</sup>.
- Malla de referencia del INFyS, con 26,220 puntos

#### **Mapa de carbono orgánico en suelos**

El mapa de carbono orgánico en el suelo fue proporcionado por la Universidad de Delaware (UD) (Guevara et al., 2020a,b), como parte de la colaboración que existe entre la CONAFOR y la UD en temas de inventarios forestales y suelos.

El mapa de COS fue desarrollado con datos específicos de México proporcionados por el INEGI para periodo 1991-2010 y representa las existencias de carbono orgánico en el suelo en kilogramos por metro cuadrado para los primeros 30 cm de profundidad del suelo. La resolución espacial es de 250 m y su cobertura es México y Estados Unidos (**Figura 37**), con la proyección geográfica WGS\_1984\_Azimuthal\_Equidistant. El mapa de COS utilizado se encuentra en formato raster (TIF) y se encuentra disponible en el siguiente enlace: [SOC\\_30cm\\_mx\\_conus\\_250m\\_iscn\\_inegi\\_1991\\_2010.tif](#)



**Figura 37.** Mapa de Carbono Orgánico en Suelos (Guevara et al., 2000a)

#### ***Malla de muestreo del INFyS***

Las características de la malla de muestreo del INFyS ya fueron descritas previamente en la sección de insumos de BA.

#### ***Otros insumos espaciales (Marco Geoestadístico)***

El Marco Geoestadístico (MG) se refiere a la información vectorial que representa la división Geoestadística del territorio nacional en sucesivos niveles de desagregación, nacional, estatal o municipal. Esta división está dada por los llamados Límites geoestadísticos, que pueden coincidir con los límites político-administrativos oficiales, los cuales tienen sustento legal; sin embargo, los que no cuentan con dicho sustento deben entenderse como límites provisionales, trazados sólo para realizar los operativos censales que se llevan a cabo en el territorio cada cierto tiempo por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México.

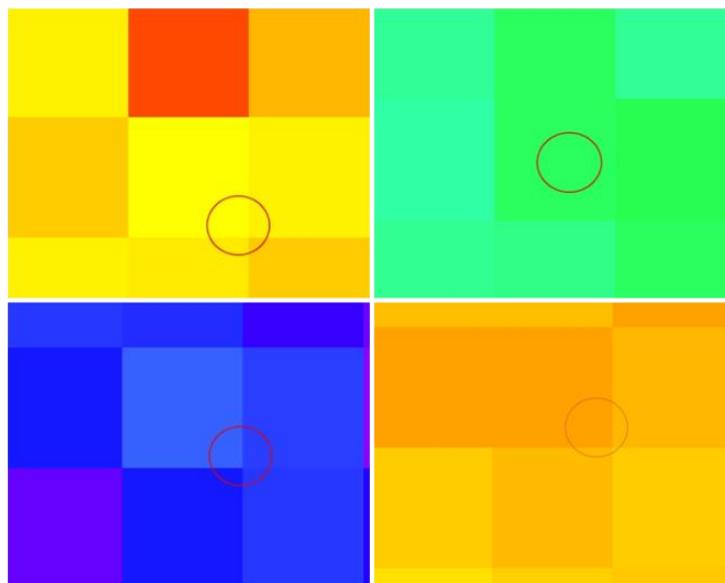
##### ***9.1.1.5.3. Método de estimación del Carbono Orgánico en Suelos***

#### ***Extracción de los contenidos de carbono del Mapa de COS***

El procedimiento para obtener los datos de carbono orgánico en suelos para cada uno de los CGL del INFyS consistió, básicamente, en asignar la cantidad de COS que le corresponde a una hectárea, tomando como base el mapa de carbono antes mencionado. El procedimiento fue el siguiente:

- a) Al Marco Geoestadístico se le aplicó un buffer de 2 km y se utilizó para recortar el raster del mapa de COS para trabajar con la información correspondiente a México.
- b) Se homogeneizaron espacialmente los insumos utilizados con las siguientes características técnicas:
  - Geographic Coordinate System: GCS\_WGS\_1984
  - Datum: D\_WGS\_1984

- Prime Meridian: Greenwich
  - Angular Unit: Degree
- c) Tomando como base las coordenadas centrales del INFyS, se generó un shapefile de polígonos circulares de 1 ha consistentes con los CGL del INFyS, utilizando la herramienta Buffer de ArcGis, con un radio de 56.419 metros.
- d) Se obtuvo el contenido de COS para cada CGL con base en el mapa de COS (Raster). Se realizó una extracción del valor promedio de carbono para cada CGL (malla de muestreo) a través de la herramienta Grid Statistics for Polygons (MEAN) del software SAGA. El resultado consistió en el promedio de los píxeles de cada polígono circular coincidente con los CGL del INFyS (**Figura 37****Figura 38**).



**Figura 38.** Ejemplo de asignación de COS a nivel de CGL (1 ha)

De los 26,200 polígonos a nivel CGL, 93 no obtuvieron ningún valor debido principalmente a que se encuentran cerca de cuerpos de agua o a la línea costera. Para estos polígonos se obtuvo un valor de forma indirecta mediante la asignación del valor de COS del punto más cercano.

- Se obtuvo el centroide de cada pixel del mapa de COS (raster), mediante la herramienta Raster to Point de ArcGis.
- Tomando los puntos de la malla de referencia y los centroides del raster, se utilizó la herramienta Spatial Join (JOIN ONE TO ONE, CLOSEST) para asignar el valor del punto más cercano.

#### **9.1.1.5.4. Resultados de la estimación del COS**

Para cada uno de los 26,220 CGL de una hectárea del INFyS se obtuvo el contenido de carbono en toneladas por hectárea, los cuales van de 5.51 a 69.31 t/ha La base de datos se encuentra disponible en el siguiente vínculo: [http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono\\_MultitemporalClaseI\\_PCC](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Insumos/ContenidodeCarbono_MultitemporalClaseI_PCC).

#### **9.1.2. Integración de las Matrices de Contenidos de Carbono por reservorio**

Se contruyó una **Matriz de Contenidos de Carbono** para cada uno de los reservorios con la finalidad de estimar las existencias de carbono de cada uno de los reservorios en cada año del periodo de análisis.

Para elaborar las Matrices de Contenidos de Carbono, se emplearon dos insumos principales que incluyeron: (i) bases de datos con estimaciones de carbono a nivel de CGL y (ii) las etiquetas de la **Matriz Multitemporal de categorías IPCC**. El procedimiento empleado para elaborar las Matrices de Contenidos de Carbono consistió en imputar a nivel de parcela los contenidos puntuales de las estimaciones de carbono por CGL para toda la serie temporal 2000-2016 de acuerdo con las etiquetas de la **Matriz Multitemporal de Categorías IPCC** y siguiendo una serie de criterios técnicos de asignación bien definidos.

Debido a que se requiere que las estimaciones de los inventarios de gases tengan una periodicidad anual, es necesario aplicar métodos de interpolación y extrapolación cuando se utilizan datos de muestreo. Si no esta disponible una serie temporal lo suficientemente extensa, puede ser necesario extrapolar hacia atrás en el tiempo para capturar la dinámica de los cambios en las existencias de carbono (IPCC, 2006). Tomando en cuenta esta consideración, para elaborar las **Matrices de Contenidos de Carbono** por reservorio se extrapoló para cada uno de los años de análisis (2000-2016) los datos puntuales de las estimaciones de carbono de la BA, BS, MM, mantillo y COS de cada una de las 26,220 parcelas. En particular, para integrar las Matrices de Contenidos de Carbono, se procedió a:

1. Seleccionar un CGL específico e identificar su contenido de carbono y el año específico de registro de la información del INFyS del muestreo y/o remuestreo (según se cuente con información para ese CGL),
2. Identificar la serie temporal de las Categorías IPCC para la parcela (de la **Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**) localizada sobre la misma coordenada del CGL seleccionado en el número anterior, identificar las Categorías IPCC de la serie temporal 2000-2016,
3. Crear una matriz de 26,220 parcelas y 18 columnas, en la que las filas corresponden a las parcelas y las columnas a los años del periodo analizado. En la primera columna se almacenó el Id de las parcelas muestreadas,
4. Guardar en la matriz el contenido de carbono en la fila y columna de la matriz correspondiente al Id del CGL y al año en que se registró la información del INFyS,
5. Imputar los contenidos de carbono para toda la serie temporal de manera previa y posterior al año de levantamiento de la información del CGL mediante la aplicación de una serie de criterios específicos por reservorio y disponibilidad de datos del INFyS que garantizaron el uso consistente de los datos del muestreo y remuestreo del INFyS y entre los datos del INFyS y la "**Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**". De manera específica, la dinámica de PERMANENCIAS incluye permanencia, permanencia recuperación y cambio que no aplica. Por su parte la dinámica de CAMBIOS incluye deforestación, degradación forestal absoluta y pérdida de praderas (**Cuadro 39**).

**Cuadro 39.** Dinámicas generales y específicas incluidas en el periodo 2000 – 2016

Dinámica General	Dinámica Específica	Dinámica Específica
<b>PERMANENCIAS</b>	Permanencia	Permanencia AH -AH
		Permanencia H -H
		Permanencia OT -OT
		Permanencia P -P
		Permanencia TA -TA
		Permanencia TF -TF
	Permanencia Recuperación	Permanencia -Rec P -P
Cambio (no aplica)		Permanencia -Rec TA -TA
		Cambio (no aplica) OT -H
<b>CAMBIOS</b>	Deforestación	Cambio (no aplica) TA -AH
		Deforestación TF -AH
		Deforestación TF -OT
		Deforestación TF -P
		Deforestación TF -TA
	Degradación	Degradación TF -TFd
	Pérdida de praderas	Pérdida de praderas P -AH

Dinámica General	Dinámica Específica	Dinámica Específica
		Pérdida de praderas P -H
		Pérdida de praderas P -OT
		Pérdida de praderas P -TA

AH: Asentamientos Humanos, H: Humedales, OT: Otras tierras, P: Praderas, TA: Tierras Agrícolas TF: Tierras Forestales TFD: Tierras Forestales degradadas.

Los criterios implementados para elaborar las **Matrices de Contenidos de Carbono** por cada uno de los reservorios, en función de su dinámica, se describen a continuación:

### 9.1.2.1 Biomasa aérea y subterránea

El contenido de carbono de la BA y BS obtenido del INFyS asignado en la “Matriz de Contenidos de Carbono de la BA y BS” en el tipo de dinámica de “PERMANENCIAS” de Categorías IPCC (según lo identificado en la “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC”) se consideró constante para cada uno de los años de la serie temporal 2000-2016, es decir para la misma categoría del IPCC, siguiendo los siguientes criterios:

- Se asignó el contenido de carbono de la BA y BS de los CGL de remuestreo del INFyS para toda la serie temporal cuando se contó con datos del muestreo y remuestreo (**Figura 39**); o cuando se contó únicamente con datos del remuestreo.
- Se asignó el contenido de carbono de la BA y BS del muestreo del INFyS para toda la serie temporal cuando sólo se contó con datos del muestreo. Esto en virtud de que las parcelas son metodológicamente consistentes entre el muestreo y re-muestreo (**Figura 40**).
- En aquellos CGL que no contaron con valores de contenido de carbono en el muestreo o remuestreo del INFyS, se asignó “sin dato” o “NULL” al contenido de carbono de la BA y BS para toda la serie temporal (**Figura 41**). Los CGL inaccesibles fueron también consideradas como “sin dato” o “NULL” tanto en su contenido como en su área muestreada. En los casos de permanencia de tierras no forestales se asignó el valor por defecto de cero (**Figura 42**).

					INFyS Muestreo				INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual						18				21							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
Asignación de tC	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

**Figura 39.** Priorización del valor del remuestreo cuando hay dos ciclos de INFyS

					INFyS Muestreo												
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual						18											
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
Asignación de tC	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

**Figura 40.** Asignación del valor de muestreo del INFyS, cuando solo se dispone de él

					INFyS Muestreo				INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual					sin dato de campo					sin dato de campo							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
Asignación de tC NULL	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null

**Figura 41.** Valores null o sin dato en tierras forestales, cuando no hay valores de los ciclos de INFyS

					INFyS Muestreo				INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual					sin dato de campo					sin dato de campo							
Clase IPCC	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA
Asignación de tC por defecto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 42.** Valor por defecto en tierras no forestales, cuando no hay valores del INFyS

El contenido de carbono de la BA y BS asignado en la “Matriz de Contenidos de Carbono de la BA y BS” en el tipo de dinámica de “CAMBIOS” de Categorías IPCC (según lo identificado en la “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC”) para cada uno de los años de la serie temporal 2000-2016 consideró los siguientes criterios, los cuales abarcan todas las posibles combinaciones del uso de los datos del muestreo y remuestreo del INFyS:

- Quando previo al CAMBIO sí se contó con estimaciones de carbono de la BA y BS con datos de muestreo del INFyS y posterior al CAMBIO sí se contó con estimaciones del carbono de la BA y BS del remuestreo, el contenido de carbono de la BA y BS asignado en la “Matriz de Contenidos de Carbono de la BA y BS” previo al CAMBIO fue el obtenido con datos del muestreo y posterior al CAMBIO fue el obtenido con los datos del remuestreo, el cual cuantifica el carbono residual post-CAMBIO (**Figura 43**).
- Quando previo al CAMBIO sí se contó con estimaciones de carbono de la BA y BS con datos de muestreo del INFyS y posterior al CAMBIO no se contó con estimaciones del carbono de la BA del remuestreo, el contenido de carbono de la BA y BS asignado en la “Matriz de Contenidos de Carbono de la BA y BS” previo al CAMBIO fue el obtenido con datos del muestreo y posterior al CAMBIO se asignó un valor de cero (**Figura 44**).
- Quando previo al CAMBIO no se contó con estimaciones de carbono de la BA y BS con datos de muestreo del INFyS y posterior al CAMBIO sí se contó con estimaciones del carbono de la BA y BS del remuestreo, o incluso posterior al CAMBIO sí se contó con información del muestreo y por lo tanto no antes del CAMBIO. En estos casos el contenido de carbono de la BA asignado en la “Matriz de Contenidos de Carbono de la BA y BS” previo y posterior al CAMBIO fue el “vacío” o “NULL” (**Figura 45**). Una variante de estos es cuando previo y posterior a la perturbación no se contó con datos del muestreo y remuestreo del INFyS, cuyo caso se considera como una parcela “sin dato” o “NULL” para toda la serie temporal (**Figura 46**).
- Quando previo al CAMBIO sí se contó con estimaciones de carbono de la BA y BS con datos del remuestreo del INFyS, ya que ha sido prioridad sobre el muestreo (**Figura 47**) o porque sólo se tenía el dato del remuestreo, y posterior al CAMBIO no se contó con estimaciones del carbono de la BA y BS, y por lo tanto se asignó un valor de cero (**Figura 48**).
- Quando los datos de muestreo y/o remuestreo del INFyS son igual a cero, la serie temporal se comporta de manera constante en todo el periodo (**Figura 49**).

					INFyS Muestreo				INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual						18				2							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Asignación de tC	18	18	18	18	18	18	18	18	2	2	2	2	2	2	2	2	2

**Figura 43.** Asignación de valores del muestreo y remuestreo del INFyS, antes y después del cambio respectivamente

	INFyS Muestreo (2004-)								2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual						0											
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Asignación de tC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 44.** Asignación de valor del muestreo del INFyS antes del cambio y valor de cero en tierras no forestales después del cambio

	INFyS Muestreo								INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual						17				sin dato de campo							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Asignación de tC	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null

**Figura 45.** Valores null cuando hay o no valores del INFyS después del cambio

	INFyS Muestreo								INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual					sin dato de campo					sin dato de campo							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Asignación de tC	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null

**Figura 46.** Valores null cuando no hay datos del INFyS previo y posterior al cambio

	INFyS Muestreo (2004-)								INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual						17				19							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L
Asignación de tC	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	0	0	0	0	0	0

**Figura 47.** Priorización del valor del remuestreo previo al cambio y valor por defecto (cero) posterior al cambio

	INFyS Muestreo (2004-)								INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual					sin dato de campo					19							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L
Asignación de tC	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	0	0	0	0	0	0

**Figura 48.** Asignación del valor del remuestreo del INFyS previo al cambio y valor por defecto (cero) posterior al cambio

	INFyS Muestreo								INFyS Remuestreo								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual						0				0							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Asignación de tC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 49.** Asignación de valores cero del muestreo y remuestreo antes y después del cambio, respectivamente

### 9.1.2.2. Madera muerta y mantillo

En virtud de que para la MM y el mantillo se dispone únicamente con la información del remuestreo del INFyS, los criterios empleados para la asignación del carbono de estos reservorios a la Matriz de Contenidos de Carbono de la MM y el mantillo para cada uno de los años de la serie temporal 2000-2016, respectivamente, se consideraron los mismos criterios específicos que abarcan todas las posibles combinaciones del uso de remuestreo del INFyS para las dinámicas de PERMANENCIAS y de CAMBIOS. De este modo, el contenido de carbono de la MM y mantillo en el tipo de dinámica de “PERMANENCIAS”, se consideró constante para cada uno de los años de la serie temporal (2000-2016) para cada reservorio, es decir para la misma categoría del IPCC considerando los siguientes criterios:

- Se asignó el contenido de carbono de los CGL del remuestreo del INFyS para toda la serie temporal cuando se dispuso de datos de contenidos de carbono del remuestreo mayor a cero (**Figura 50**).
- Similar al caso anterior, se asignó el contenido de carbono de los CGL del remuestreo del INFyS para toda la serie temporal cuando se contó con datos de contenidos de carbono del remuestreo igual a cero (**Figura 51**).
- Se asignó un valor por defecto de cero en contenido de carbono a las clases de tierras no forestales (P-P, TA-TA, H-H, AH-AH y OT-OT) para toda la serie temporal cuando no se contó con datos de remuestreo del INFyS (**Figura 52**).
- Se asignó “sin dato” o “NULL” tanto a su contenido de carbono como a su área muestreada, para la clase tierra forestal (TF-TF) en toda su serie temporal de acuerdo con los conglomerados inaccesibles o no muestreados del INFyS, para toda la serie temporal (**Figura 53**).

	INFyS Remuestreo (2009-2014)																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual										8							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
Asignación de tC	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

**Figura 50.** Asignación del valor del remuestreo del INFyS mayor a cero

	INFyS Remuestreo																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual										0							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
Asignación de tC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 51.** Asignación del valor del remuestreo del INFyS igual a cero

	INFyS Remuestreo																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual	sin dato de campo																
Clase IPCC	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA
Asignación de tC por defecto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 52. Asignación del valor del por defecto (cero) a tierras no forestales

	INFyS Remuestreo																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual	sin dato de campo																
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
Asignación de tC NULL	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null

Figura 53. Asignación de valor NULL o sin dato en tierras forestales

El contenido de carbono de la MM y mantillo en el tipo de dinámica de “CAMBIOS”, para cada uno de los años de la serie temporal (2000-2016) para cada reservorio, consideró los siguientes criterios:

- Cuando previo al cambio si se contó con estimaciones de carbono con datos del remuestreo del INFyS mayores a cero y posterior al cambio se asignó el valor por defecto de cero en tierras no forestales (Figura 54).
- Cuando previo al cambio si se contó con estimaciones de carbono con datos del remuestreo del INFyS mayores o iguales a cero. Y posterior al cambio se asignó el valor por defecto de CERO en tierras no forestales. En este caso el valor de cero permanece constante en toda la serie de tiempo a pesar del cambio de etiqueta (Figura 55).
- Cuando posterior al cambio si se contó con estimaciones de carbono con datos del remuestreo del INFyS mayores a cero o iguales a cero. Sin embargo, al no conocerse el valor del contenido de carbono en tierras forestales antes del CAMBIO se consideró como una parcela sin dato o NULL para toda la serie temporal (Figura 56).
- Cuando no se cuenta con estimaciones de carbono con datos de remuestreo del INFyS en tierras forestales antes del CAMBIO y mucho menos después del CAMBIO (Figura 57). Estos casos se consideraron como “sin dato” o “NULL” y las áreas de muestreo fueron excluidas de los cálculos totales. Los CGL inaccesibles fueron también considerados como “sin dato” o “NULL” tanto en su contenido como en su área muestreada.

	INFyS Remuestreo																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual										21							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L
Asignación de tC	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	0	0	0	0	0

Figura 54. Asignación del valor del remuestreo mayor a cero antes del cambio y valor por defecto (cero) posterior al cambio

	INFyS Remuestreo																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual										0							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L
Asignación de tC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 55.** Asignación del valor del remuestreo igual a cero antes del cambio y valor por defecto (cero) posterior al cambio

	INFyS Remuestreo																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tC puntual										21							
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Asignación de tC	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null

**Figura 56.** Asignación del valor NULL cuando se tiene valor del INFyS posterior al cambio, pero no antes

	INFyS Remuestreo																	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
tC puntual										sin dato de campo								
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
Asignación de tC NULL	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	null	

**Figura 57.** Asignación de valor NULL o sin dato en tierras no forestales, cuando no se cuenta con información del INFyS

### 9.1.2.3. Carbono orgánico en Suelos (COS)

Los criterios empleados para la asignación del COS a la Matriz de Contenidos de COS para cada uno de los años de la serie temporal 2000-2016, consideraron los criterios específicos para las dinámicas de PERMANENCIAS y CAMBIOS como se muestra enseguida.

Para las PERMANENCIAS se asignó el contenido de carbono constante en toda la serie temporal para la misma categoría de IPCC. No se definieron criterios específicos ya que las 26,220 parcelas cuentan con un valor de carbono al inicio de año de la serie temporal 2000-2016, el cual permaneció constante a lo largo del periodo (**Figura 58**).

	Clase IPCC de la Malla de Referencia																
Año/CGL	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL
	Contenido de Carbono (Delaware)																
Año/CGL	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Asignación de tC	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2

**Figura 58.** Asignación de valor de COS constante en toda la serie temporal

Para el caso de los CAMBIOS, se identificaron los factores de cambio de existencias para las diferentes actividades de uso de categorías del IPCC y se asignaron a cada una de las dinámicas (ver Directrices del IPCC, 2006, Volumen 4, Capítulo de Metodologías Genéricas (2) y Capítulos de cada Categoría (4-9)). Como criterio adicional, para poder asignar los factores de cambio de los contenidos de carbono, a las 26,220 parcelas se les indentificó su ecorregión como criterio de asignación del mejor factor de cambio (**Cuadro 40**) de acuerdo con la ecuación 2.25 (IPCC, 2006):

$$\Delta C_{Minerales} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF,c,s,i} \cdot F_{LU,c,s,i} \cdot F_{MG,c,s,i} \cdot F_{I,c,s,i} \cdot A_{c,s,i}) \quad \dots \text{eq 2.25 (IPCC, 2006)}$$

estos factores se dividen en:

- FLU: Factores de cambio de existencias para sistemas de uso de suelo
- F<sub>MG</sub>: Factores de cambio de existencias para régimen de gestión
- F<sub>I</sub>: Factores de cambio de existencias para aporte de materia orgánica

en donde, además:

- SOC<sub>0</sub>: existencias de carbono orgánico en el último año del periodo (t C).
- SOC<sub>0-T</sub>: SOC<sub>REF</sub> = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo del periodo. En el presente reporte este valor es igual al SOC<sub>REF</sub> considerado como el valor de COS de la base de datos de contenido de Carbono (Guevara *et al.*, 2020).

**Cuadro 40.** Factores de cambio de las existencias de carbono por dinámica de cambio

Dinámica		n CGLs	SOC 0-T referencia (año 2000). De la BD de Carbono (Delaware)	SOC 0 (t C/ha)
Cambios a Humedales (H)	P-H	3	t C ref/ha	0
Cambio (no aplica)	OT-H	1	t C ref/ha	0
Cambios a Otras Tierras (OT)	TF-OT	9	t C ref/ha	0
		2	t C ref/ha	0
Cambios a Asentamientos Humanos (AH)	TF-AH	9	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(0.8)*(1)*(1)
		13	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(0.8)*(1)*(1)
Cambio (no aplica)	TA -AH	8	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(0.8)*(1)*(1)
Cambios a Tierras de Cultivo (TA)	TF-TA	124	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(0.93)*(1.09)*(0.95)
		77	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(0.93)*(1.09)*(0.95)
Cambio (no aplica)	P -TA	1	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(0.93)*(1.09)*(0.95)
Cambios a Praderas (P)	TF-P	598	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(1)*(0.97)*(1)
Cambios a Tierras Forestales degradadas (TFd)	TF-TFd	109	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(1)*(0.97)*(1)
Cambio (no aplica)	TA -P	1	t C ref/ha	(t C ref/ha)*(1)*(0.97)*(1)

**Cuadro 40** (continuación)

Dinámica	FLU				FMG				FMI			
	Unico	Tropical Seco	Tropical Humedo	Tropical montano	Unico	Tropical Seco	Tropical Humedo	Tropical montano	Unico	Tropical Seco	Tropical Humedo	Tropical montano
P-H												
OT-H												
TF-OT												
P-OT												
TF-AH	0.8				1				1			
P-AH	0.8				1				1			
TA -AH	0.8				1				1			
TF-TA		0.93	0.82	0.88		1.09	1.15	1.09		0.95	0.92	0.94
P-TA		0.93	0.82	0.88		1.09	1.15	1.09		0.95	0.92	0.94
P -TA		0.93	0.82	0.88		1.09	1.15	1.09		0.95	0.92	0.94
TF-P	1				0.97				1			
TF-TFd	1				0.97				1			
TA -P	1				0.97				1			

En la **Figura 59** se muestra un ejemplo de asignación del factor posterior al cambio, en parcelas identificadas con degradación forestal absoluta (DFA), aunque es el mismo caso para aquellas identificadas como deforestación.

49136	TF	TF	TF	TF	TF	Tfd	Degradación TF-TFd																		
CGL	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Estatus	Factor (FLU*FMG*FI)	SOC_0	(SOC_0 - SOC 0-t)/20	Ecoregión Clave	Ecoregión Nombre
49136	36.76	36.76	36.76	36.76	36.76	36.70	36.65	36.59	36.54	36.48	36.43	36.37	36.32	36.26	36.21	36.15	36.10	36.04	35.98	Degradación TF-TFd	0.97	35.65401106	-0.055135069	15	Selvas Calido-Humedas

**Figura 59.** Ejemplo de asignación de contenido de carbono a la serie temporal utilizando factores de cambios de existencias

**9.1.2.4. Caso particular de permanencia de Tierras Forestales (degradación forestal parcial)**

En el presente NREF no fue posible discriminar las emisiones de la degradación forestal parcial (convencional). Todos los posibles casos de degradación forestal parcial están considerados como permanencias de Tierras Forestales. Los contenidos de carbono a nivel de parcela, para los cinco reservorios reportados, permanecieron constantes en todo el periodo de análisis en aquellas parcelas etiquetadas como permanencia de Tierras Forestales (pero que no presentaron DFA), por lo que no fue posible determinar variaciones parciales de dichos contenidos en el periodo de análisis. Las únicas parcelas que registraron un cambio en su contenido de C fueron aquellas etiquetadas con Deforestación o con DFA.

Se asume que las variaciones de carbono hacia abajo o hacia arriba (debidas a la degradación forestal parcial o a su inverso, respectivamente), antes del cambio de uso del suelo en el conjunto de las parcelas deforestadas, se compensan entre sí. Por esta razón, se garantiza evitar una posible doble contabilidad entre las actividades de deforestación bruta y degradación forestal parcial (DFP).

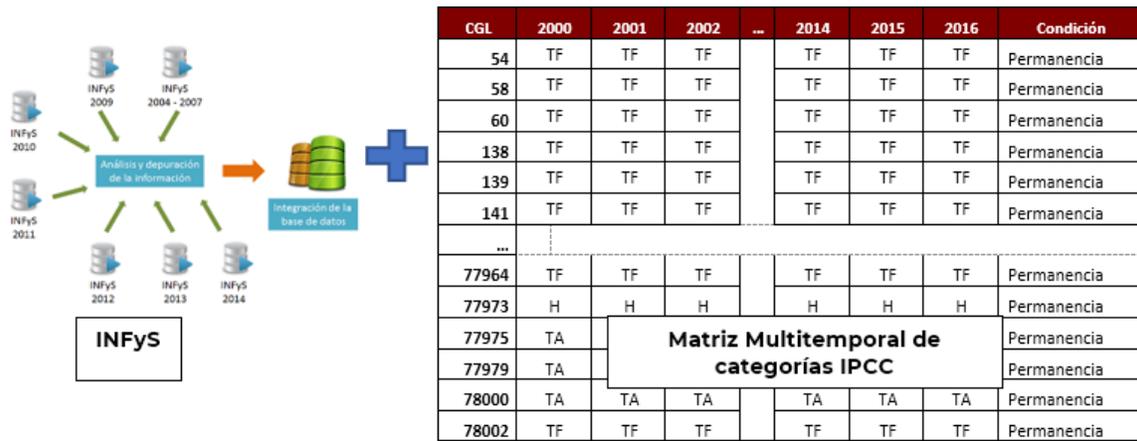
En particular, la ocurrencia de DFP se puede presentar en tres casos, cuyas descripciones y efectos en el presente NREF se exponen a continuación (**Cuadro 41**):

**Cuadro 41.** Descripción de casos de ocurrencia de DFP y efectos en el presente NREF

Caso	Efecto en el NREF
<p>1.- Se refiere a aquellas parcelas que:</p> <p>(i) presentaron una perturbación (DFA o Deforestación), y</p> <p>(ii) venían de un proceso de DFP, y</p> <p>(iii) en el año de la perturbación o un año previo se registró información del contenido de Carbono (proveniente del 1° o 2° ciclo del INFyS) con el que se estimó la emisión por D o DFA.</p>	<p>En este caso, la DFP no tiene ningún efecto en las emisiones del NREF, toda vez que los contenidos de carbono de las parcelas que sufrieron algún tipo de perturbación fueron estimados con los datos del INFyS medidos justo en el año de la perturbación o un año previo inmediato.</p>
<p>2. Se refiere a aquellos casos en los que las parcelas:</p> <p>(i) presentaron una perturbación (DFA o Deforestación), y</p> <p>(ii) venían de un proceso de DFP, y</p> <p>(iii) los contenidos de carbono fueron estimados con información del INFyS (1° o 2° ciclo) levantada dos o más años antes de la perturbación.</p>	<p>Este caso podría conducir a una sobreestimación de las emisiones derivadas de las perturbaciones (D o DFA), ya que es altamente probable que desde el año de levantamiento de los datos del INFyS hasta el año de la perturbación, hubiese ocurrido un decremento en los contenidos de Carbono (i.e. una DFP). Asumir una pérdida total del Carbono estimado en el año de levantamiento de datos conduciría a una sobreestimación de las emisiones.</p> <p>Sin embargo, se asume que en el conjunto de las parcelas que sufrieron perturbación, las variaciones de contenidos de carbono hacia abajo o hacia arriba (debidas a la DFP o a incrementos de C, respectivamente, durante el periodo comprendido desde el año de levantamiento de los datos del INFyS hasta el año de la perturbación) se compensan entre sí.</p> <p>Por lo anterior, una posible sobreestimación (debida a DFP) de las emisiones derivadas de las perturbaciones se compensa con la subestimación provocada por los incrementos de C.</p>
<p>3. Se refiere a aquellas parcelas que se etiquetaron como permanencias de Tierra Forestal (TF) durante todo el periodo de análisis 2000-2016 y en las que ocurrió o pudo ocurrir una DFP.</p>	<p>Todas las parcelas que pudieron presentar algún tipo de DFP y que al final del periodo 2000-2016 siguieron siendo TF, fueron etiquetadas como permanencia de TF y se asumió constante su contenido de carbono en todo el periodo de análisis.</p> <p>Lo anterior implica que las existencias de C de las permanencias de TF son constantes en todo el periodo y que las posibles variaciones (hacia arriba o hacia abajo) de dichas existencias se compensan entre sí.</p> <p>Estrictamente hablando, la DFP ocurrida en las permanencias de TF está excluida de los cálculos del NREF, por lo que no tiene ningún efecto sobre dichas estimaciones.</p>

### 9.1.3. Método de estimación de existencias totales anuales de carbono

Con la finalidad de estimar las existencias anuales totales de carbono a nivel nacional a partir de la estimación de las existencias anuales de carbono de cada uno de los reservorios para el periodo de análisis 2000-2016, se utilizaron las Matrices de Contenido de Carbono de cada uno de los 5 reservorios. Como se describió en la subsección anterior, las Matrices de Contenido de Carbono se generaron mediante la asignación del valor puntual del contenido de carbono del INFyS a cada año de la serie temporal de acuerdo a las categorías IPCC de la Matriz Multitemporal de Categorías IPCC como se muestra en la **Figura 60**.



Asignación del valor puntual del contenido de carbono del INFyS a cada año de la serie temporal a partir de la **Matriz Multitemporal de Categorías IPCC**

	2000	2001	2002	2003	INFyS Muestreo				INFyS Remuestreo								2015	2016
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
tC puntual						18				2								
Clase IPCC	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	FL	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
Asignación de tC	18	18	18	18	18	18	18	18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Asignación del valor puntual del contenido de carbono del INFyS a las 26,220 parcelas de la matriz multitemporal para la construcción de la **Matriz de Contenidos de Carbono** para cada uno de los reservorios

CGL	2000	2001	2002	2003	2004	...	2014	2015	2016
54	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032		0.0032	0.0032	0.0032
58	0	0	0	0	0		0	0	0
60	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133		0.0133	0.0133	0.0133
138	0	0	0	0	0		0	0	0
139	0.0334	0.0334	0.0334	0.0334	0.0334		0.0334	0.0334	0.0334
141	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045		0.0045	0.0045	0.0045
...									
77964	7.3175	7.3175	7.3175	7.3175	7.3175		7.3175	7.3175	7.3175
77973	0	0	0	0	0		0	0	0
77975	0	0	0	0	0		0	0	0
77979	0	0	0	0	0		0	0	0
78000	0	0	0	0	0		0	0	0
78002	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661		0.0661	0.0661	0.0661

**Figura 60.** Proceso de construcción de la Matriz de Contenidos de Carbono para cada reservorio

Con la información de la “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC” y las 5 “Matrices de Contenidos de Carbono”, se estimó las existencias anuales de carbono para cada reservorio. Cuando se toman datos de inventarios existentes a gran escala para la declaración de emisiones o absorciones de gases de efecto invernadero, como los inventarios de bosques a nivel nacional, es conveniente aplicar los procedimientos de estimación estándar de ese inventario, mientras estén basados en principios estadísticos sólidos (IPCC, 2006). Por lo tanto, las existencias anuales de carbono de cada reservorio se obtuvieron empleando estimadores adecuados para el diseño de muestreo del INFyS; en particular, para este reporte, se emplearon los estimadores propuestos por Scott (2018).

**Existencias totales de carbono a nivel nacional y sus incertidumbres para un reservorio en particular**

Las existencias totales de carbono a nivel nacional y sus incertidumbres para un reservorio en particular se obtuvo de acuerdo con lo siguiente:

- 1) Estimadores de razón (ER) del contenido de carbono y sus incertidumbres para la clase forestal a nivel de intensidad de muestreo y ecorregión

- a. Obtención del estimador de Razón para la clase de Tierra Forestal

El ER se refiere a la cantidad promedio de carbono (tC/ha de C) de la clase Tierra Forestal en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión para el año  $k$ . Una vez obtenido el ER, éste fue ponderado por el área de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión para obtener la existencia de carbono de esa área específica.

El ER de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión se obtuvo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\widehat{ER}_{ij} = \frac{\sum_{h=1}^{N_{ij}} c_{hij}}{\sum_{h=1}^{N_{ij}} a_{hij}}$$

Donde:

$\widehat{ER}_{ij}$ : Estimador de Razón del contenido de carbono para la clase Tierra Forestal en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión

$c_{hij}$ : Contenido de carbono (t C / área muestreada) de la  $h$ -ésima parcela de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión

$N_{ij}$ : Número de parcelas en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima Ecorregión

$a_{hij}$ : Área de muestreo de la  $h$ -ésima parcela de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión

- b. Estimación de la incertidumbre del estimador de razón

La incertidumbre del estimador de razón se obtuvo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$U(\widehat{ER}_{ij}) = \frac{Z_{\alpha/2} * s(\widehat{ER}_{ij})}{\widehat{ER}_{ij}} * 100$$

Donde:

$U(\widehat{ER}_{ij})$ : Incertidumbre del  $\widehat{ER}_{ij}$

$Z_{\alpha/2}$ : Definido previamente

$$s(\widehat{ER}_{ij}) = \sqrt{\frac{N_{ij}}{N_{ij} - 1} \frac{\sum_{h=1}^{N_{ij}} c_{hij}^2 - 2 \widehat{ER}_{ij} \sum_{h=1}^{N_{ij}} c_{hij} a_{hij} + \widehat{ER}_{ij}^2 \sum_{h=1}^{N_{ij}} a_{hij}^2}{(\sum_{h=1}^{N_{ij}} a_{hij})^2}}$$

- 2) Estimación de existencias de carbono y sus incertidumbres de la clase forestal a nivel de intensidad de muestreo y ecorregión

- a. Estimación de las existencias de carbono

La existencia de carbono de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión se obtuvieron ponderado el  $\bar{E}R_{ij}$  por el área del polígono de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión  $A_{ij}$ :

$$\hat{C}_{ij} = A_{ij} \cdot \bar{E}R_{ij}$$

- b. Estimación de la incertidumbre de la existencia de carbono  
La incertidumbre de la existencia de carbono se obtuvo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$U(\hat{C}_{ij}) = \frac{Z_{\alpha/2} * s(\hat{C}_{ij})}{\hat{C}_{ij}} * 100$$

Donde:

$U(\hat{C}_{ij})$ : Incertidumbre del  $\hat{C}_{ij}$

$Z_{\alpha/2}$ : Definido previamente

$s(\hat{C}_{ij}) = A_{ij} \cdot s(\bar{E}R_{ij})$

- 3) Estimación de la existencia total de carbono y propagación de incertidumbres a nivel nacional

- a. Estimación de la existencia total de carbono a nivel nacional para un reservorio específico

La existencia total de carbono a nivel nacional para el año  $k$  (para el reservorio  $p$ ) se obtuvo sumando las existencias de carbono (del reservorio  $p$ ) de las  $i$ -ésimas intensidades de muestreo de las  $j$ -ésimas ecorregiones del año  $k$ :

$$\bar{T}C_{pk} = \sum_{j=1}^7 \sum_{i=1}^3 \hat{C}_{ij}$$

- b. Propagación de la incertidumbre de las existencias de carbono a nivel nacional para un reservorio específico

La incertidumbre de las existencias totales de carbono a nivel nacional para el año  $k$  (para el reservorio  $p$ ), se obtuvo propagando las incertidumbres de las existencias de carbono (del reservorio  $p$ ) de las  $i$ -ésimas intensidades de muestreo de las  $j$ -ésimas ecorregiones del año  $k$  siguiendo la Ecuación 3.2 de las Directrices del IPCC (2006):

$$U(\bar{T}C_{pk}) = \frac{\sqrt{(U(\hat{C}_{11}) * \hat{C}_{11})^2 + (U(\hat{C}_{12}) * \hat{C}_{12})^2 + \dots + (U(\hat{C}_{37}) * \hat{C}_{37})^2}}{|\bar{T}C_{pk}|}$$

Donde:

$U(\bar{T}C_{pk})$  es la incertidumbre de las existencias de carbono a nivel nacional para el año  $k$  (del reservorio  $p$ ) a nivel nacional del año  $k$ ,

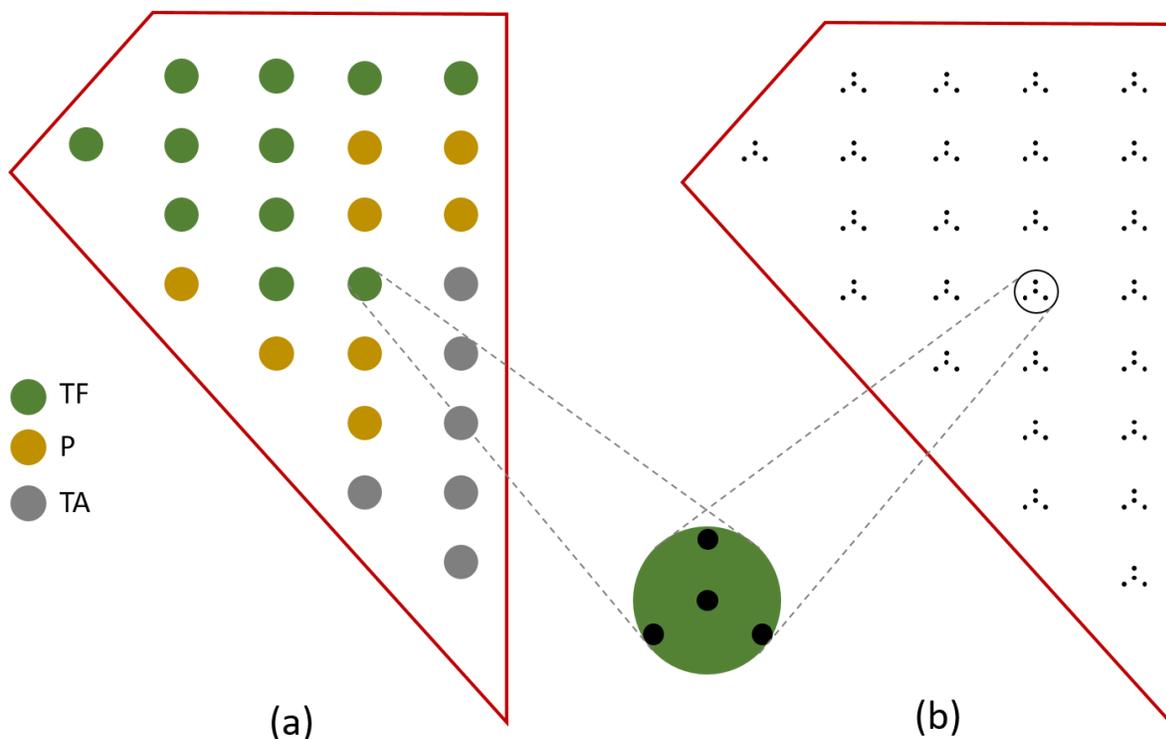
$U(\hat{C}_{ij})$  y  $\hat{C}_{ij}$  ya fueron definidos previamente.

Con fines ilustrativos, el proceso general de estimación de las existencias de carbono (para un reservorio específico) se muestra a continuación empleando el mismo ejemplo hipotético de la sección 8:

- I. Supongamos que el área de la ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km (ver polígono de contorno rojo de la **Figura 61-a**) tiene un área de 1000 ha y tenemos interés en estimar la Existencia de Carbono de la BA para las tierras forestales para un año determinado.
- II. Supongamos que, para el año 2007, conocemos la clase IPCC (con datos de la Matriz de Categorías IPCC) para las parcelas de la **Figura 61-a** y que para esas mismas ubicaciones conocemos el contenido de carbono de la BA (ver **Figura 61-b**) se obtuvo a través de un

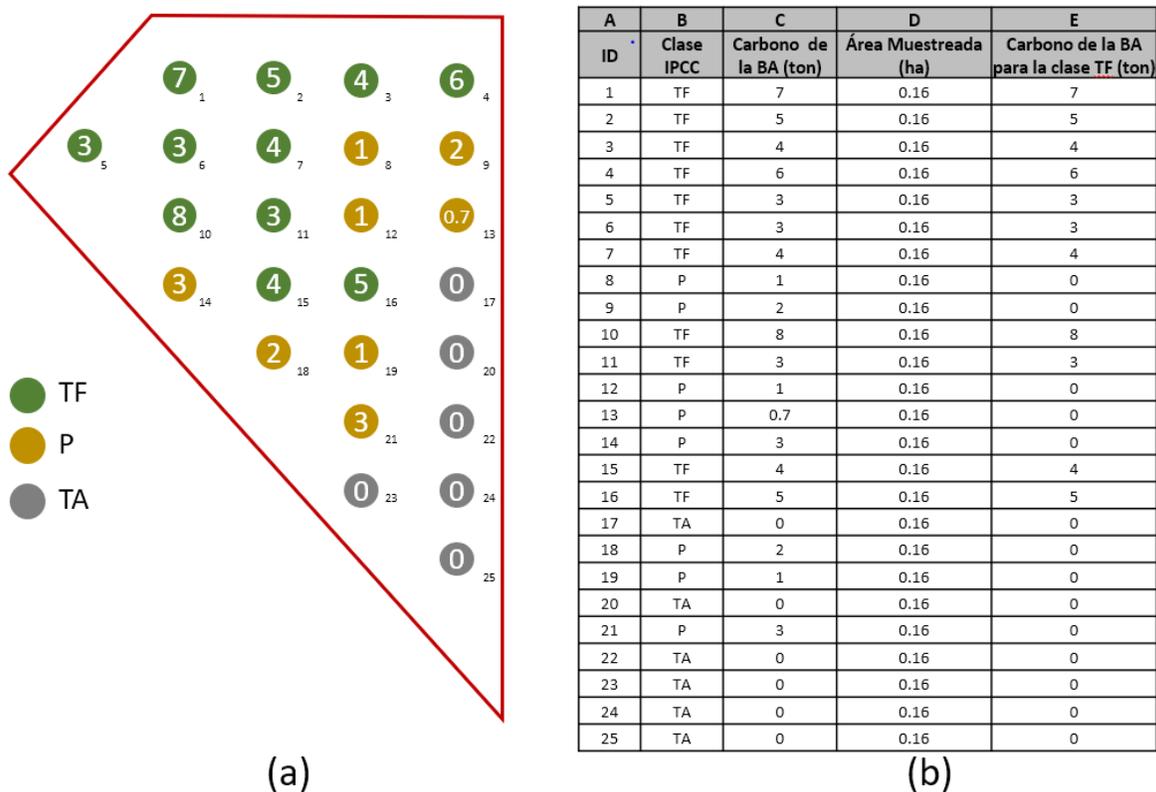
inventario forestal (cuyos datos fueron integrados y extrapolados en la Matriz de Contenidos de Carbono de la BA).

- III. Con base en los dos insumos descritos anteriormente, se asignó un contenido de carbono (**Figura 61-b**) a las parcelas etiquetadas con las Categorías IPCC (**Figura 61-a**).



**Figura 61.** Diagrama con la representación de la combinación de la (a) “Matriz Multitemporal de Categorías IPCC” con la (b) “Matriz de Contenidos de Carbono de la BA”. En la Figura 61-b el conjunto de 4 puntos representa un conglomerado del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, donde cada punto tiene una superficie de 0.04 ha y, por lo tanto el conglomerado tiene una superficie de 0.16 ha.

- IV. Con base en el supuesto descrito en el punto III, para un año determinado, fue posible contar con parcelas con clase IPCC conocida y contenido de carbono de la BA conocido (**Figura 62-a**).
- V. La información de las parcelas (Id, clase IPCC, carbono de la BA y área muestreada) para un año específico fue sistematizada en una base de datos (**Figura 62-b**).



**Figura 62.** (a) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas Categorías IPCC identificadas a nivel de parcela (b) Tabla con la información de las parcelas representadas en la **Figura 61-a**

VI. Por lo tanto, para obtener la existencia de carbono en el año 2007 para la clase “Tierra Forestal” en la ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km, se generó una variable en la que se identificó a nivel de parcela el carbono del dominio “Tierra Forestal” (Ver columna E de la **Figura 62-b**). Con base en esta variable, se obtuvo el contenido promedio de carbono de la clase forestal ( $ER_{TF}$ ) en el área de interés para el año 2007, dividiendo la “suma de los contenidos de carbono del dominio tierra forestal” entre la “suma del área muestreada”:

$$ER_{TF,2007} = \frac{7 + 5 + 4 + 6 + 3 + 3 + 4 + 0 + 0 + 8 + 3 + 0 + 0 + 0 + 4 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0}{25 \times 0.16} = 13 \text{ t/ha}$$

VII. Para el año 2007, la existencia total de carbono de clase la tierra forestal en la ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km (cuya área es de 1000 ha), se obtuvo ponderando el área total del polígono de interés por el contenido promedio de carbono de la clase forestal:

$$C_{TF,2007} = 1000 \text{ ha} \times 13 \frac{\text{t}}{\text{ha}} = 13,000 \text{ t C}$$

Para obtener las estimaciones de las existencias de carbono de cada reservorio a nivel nacional para un año en particular, primero se obtuvieron las existencias de cada combinación ecorregión Nivel 1-Intensidad de muestreo y posteriormente se sumaron para obtener el valor a nivel nacional..

## **Existencias totales de carbono a nivel nacional y sus incertidumbres para los cinco reservorios**

El estimador de las existencias totales de carbono a nivel nacional para los cinco reservorios se obtuvo sumando las existencias totales de carbono a nivel nacional de cada reservorio, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\widehat{TC}_k = \sum_{k=1}^5 \widehat{TC}_{pk}$$

Donde:

$\widehat{TC}_k$  es la existencia de carbono a nivel nacional para el año k (de los cinco reservorios),

$\widehat{TC}_{pk}$  ya fue definido previamente

La incertidumbre de las existencias totales de carbono a nivel nacional para los cinco reservorios se obtuvo a partir de la propagación de las incertidumbres de las existencias totales de carbono a nivel nacional de los reservorios de biomasa (BA + BS), madera muerta, mantillo y COS siguiendo la Ecuación 3.2 de las Directrices del IPCC (2006).

## **9.2. Resultados de las existencias de carbono en las Tierras Forestales de México**

### **9.2.1. Contenidos de carbono forestal por unidad de superficie**

En esta sección se presentan los estimadores de razón (ER) de los contenidos de carbono para la clase de Tierras Forestales por unidad de superficie (1 ha) de cada sub-estrato (ecorregión – intensidad de muestreo) para los cinco reservorios incluidos en el NREF. Los ER pueden concebirse como la cantidad de carbono forestal que existe en la superficie de 1 hectárea de una ecorregión dada con una intensidad de muestreo dada, tal como se explicó en la sección anterior.

#### **Biomasa aérea**

El **Cuadro 42** muestra los contenidos de carbono forestal en la BA por unidad de superficie de cada sub-estrato, medidos en t C/ha. Los valores más altos se encuentran en los sub-estratos de Sierras Templadas con equidistancia de 5x5 km (26.46 – 26.14 t C/ha) y de Selvas Cálido-Húmedas con equidistancia de 5x5 km (24.99 – 24.0 t C/ha). En la mayoría de los sub-estratos, los ER tienen una tendencia decreciente hasta el final del periodo 2000-2016, por lo que el menor valor del estimador se encontró en el año 2016 en la mayoría de los casos. El **Cuadro 43** muestra las incertidumbres asociadas a dichos estimadores.

#### **Biomasa subterránea**

El **Cuadro 44** y el **Cuadro 45** muestran los contenidos de carbono forestal en la BS por ecorregión e intensidad de muestreo (o equidistancia) y sus incertidumbres asociadas, respectivamente. Los valores máximos se encontraron en los sub-estratos de Sierras Templadas con equidistancia de 5x5 km (9.64 – 9.52 t C/ha) y de Selvas Cálido-Húmedas con equidistancia de 5x5 km (6.54 – 6.24 t C/ha). Cabe señalar que dichos valores conservan la misma tendencia decreciente en todo el periodo. En la mayoría de los sub-estratos los menores valores del estimador se encontraron en el último año analizado.

Los ER e incertidumbre del contenido de carbono en biomasa (BA más BS) se muestran en el **Cuadro 46** y el **Cuadro 47**. Consistente con biomasa aérea y biomasa subterránea, los valores más altos de la suma de estos reservorios se encuentran en los sub-estratos de Sierras Templadas con equidistancia de 5x5km (36.09 – 35.66 t C/ha) y de Selvas Cálido-Húmedas con equidistancia de 5x5 km (31.53 – 30.24 t C/ha).

### **Madera muerta**

Los ER del contenido de carbono forestal en madera muerta por ecorregión e intensidad de muestreo se presentan en el **Cuadro 48** y sus respectivas incertidumbres en el **Cuadro 49**. En cuanto a los ER, se registran los valores más altos en los sub-estratos de Selvas Cálido Húmeda con equidistancia de 5x5 km (4.29 – 4.18 t C/ha) y con equidistancia 10x10 km (2.74 – 2.68 t C/ha). Aunque dichos valores muestran tendencias decrecientes a través del tiempo, la diferencia entre ellos, para un mismo sub-estrato, no es de gran magnitud e inclusive en algunos casos el estimador se mantiene constante.

### **Mantillo**

Los contenidos de carbono forestal en mantillo e incertidumbre por ecorregión e intensidad de muestreo se muestran en el **Cuadro 50** y el **Cuadro 51**. Los valores más altos se muestran en el sub-estrato de Selvas Cálido Húmeda con equidistancia de 5x5 (2.82 – 2.72) seguido del sub-estrato Sierras Templadas con equidistancia de 5x5km (2.42 – 2.4). Los contenidos de carbono muestran tendencias decrecientes o constantes a través del tiempo.

### **Carbono orgánico en el suelo**

Los contenidos de carbono orgánico en el suelo en Tierras Forestales por tipo de ecorregión y equidistancia se muestran en el **Cuadro 52**. Los valores de los ER son considerablemente superiores a los valores observados en los demás reservorios. El sub-estrato con los valores más altos corresponde a las Selvas Cálido-Húmedas con equidistancia o intensidad de muestreo de 5x5 km, con valores que oscilan entre 37.10 y 34.32 t C/ha. El segundo valor más alto corresponde al sub-estrato de Grandes Planicies y equidistancia de 5x5 km con un valor constante de 33 t C/ha. En el **Cuadro 53** se muestran las incertidumbres correspondientes a los estimadores por sub-estrato.

**Cuadro 42.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa aérea por unidad de superficie de cada sub-estrato (tonneladas C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78
CalMed- 20x20- TF	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CalMed- 5x5- TF	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.86	8.36	8.36	8.36
DesAN- 10x10- TF	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
DesAN- 20x20- TF	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
DesAN- 5x5- TF	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79
ElevSM- 10x10- TF	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.63	4.59	4.59
ElevSM- 20x20- TF	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.47	1.47	1.47	1.47
ElevSM- 5x5- TF	9.71	9.71	9.71	9.71	9.71	9.71	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.67	9.67	9.67
GraPla- 10x10- TF	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
GraPla- 20x20- TF	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
GraPla- 5x5- TF	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77
SCH- 10x10- TF	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.52	12.48	12.48	12.48	12.48	12.47	12.34	12.26
SCH- 20x20- TF	3.87	3.87	3.87	3.87	3.87	3.87	3.87	3.87	3.80	3.66	3.66	3.66	3.66	3.61	3.58	3.55	3.34
SCH- 5x5- TF	24.99	24.99	24.99	24.99	24.99	24.97	24.93	24.82	24.70	24.58	24.49	24.43	24.33	24.25	24.15	24.09	24.00
SCS- 10x10- TF	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.34	9.34	9.34	9.30	9.28	9.26	9.23	9.22	9.17	9.15
SCS- 20x20- TF	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	1.96	1.96	1.95	1.94	1.94	1.93
SCS- 5x5- TF	15.21	15.21	15.21	15.21	15.21	15.19	15.18	15.18	15.16	15.15	15.13	15.07	15.06	15.01	14.97	14.92	14.87
SieTem- 10x10- TF	10.48	10.48	10.48	10.48	10.48	10.48	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.41	10.39	10.36	10.36	10.36	10.36
SieTem- 20x20- TF	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56
SieTem- 5x5- TF	26.46	26.46	26.46	26.46	26.46	26.45	26.43	26.43	26.41	26.39	26.37	26.33	26.28	26.25	26.20	26.17	26.14

NOTA: La base de datos se encuentra en el archivo (ResumenEstRazonBA\_00\_16\_Ecorregion.xls), en el siguiente enlace:

[http://file.cnf.gob.mx/FREL\\_modificado/Existencias\\_Carbono/BiomasaAerea](http://file.cnf.gob.mx/FREL_modificado/Existencias_Carbono/BiomasaAerea)

CalMed - California Mediterránea

GraPla - Grandes Planicies

SieTem - Sierras Templadas

DesAN - Desiertos de América del Norte

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

SCS - Selvas Cálido-Secas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 43.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa aérea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
CalMed- 20x20- TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed- 5x5- TF	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	49	49	49
DesAN- 10x10- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN- 20x20- TF	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DesAN- 5x5- TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
ElevSM- 10x10- TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ElevSM- 20x20- TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM- 5x5- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla- 20x20- TF	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	84	84	84	84	84	84
GraPla- 5x5- TF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
SCH- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13
SCH- 20x20- TF	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	30
SCH- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS- 10x10- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCS- 20x20- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29
SCS- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SieTem- 20x20- TF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20
SieTem- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

CalMed - California Mediterránea

GraPla - Grandes Planicies

SieTem - Sierras Templadas

DesAN - Desiertos de América del Norte

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

SCS - Selvas Cálido-Secas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 44.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (toneladas C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31
CalMed- 20x20- TF	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
CalMed- 5x5- TF	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	2.90	2.90	2.90
DesAN- 10x10- TF	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
DesAN- 20x20- TF	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
DesAN- 5x5- TF	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96
ElevSM- 10x10- TF	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.16	2.14	2.14
ElevSM- 20x20- TF	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
ElevSM- 5x5- TF	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.27	4.27	4.27
GraPla- 10x10- TF	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
GraPla- 20x20- TF	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
GraPla- 5x5- TF	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29
SCH- 10x10- TF	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.60	2.58	2.56
SCH- 20x20- TF	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.10	1.08	1.08	1.08	1.08	1.06	1.05	1.05	0.99
SCH- 5x5- TF	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54	6.52	6.49	6.45	6.41	6.38	6.36	6.33	6.31	6.28	6.26	6.24
SCS- 10x10- TF	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.95	3.95	3.94	3.93	3.92	3.91	3.90	3.88	3.88
SCS- 20x20- TF	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.71
SCS- 5x5- TF	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.80	5.79	5.79	5.78	5.78	5.77	5.75	5.74	5.72	5.71	5.70	5.68
SieTem- 10x10- TF	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.20	4.19	4.18	4.18	4.18	4.18
SieTem- 20x20- TF	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76
SieTem- 5x5- TF	9.64	9.64	9.64	9.64	9.64	9.64	9.63	9.63	9.62	9.61	9.61	9.59	9.58	9.57	9.55	9.54	9.52

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 45.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	61	61
CalMed- 20x20- TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed- 5x5- TF	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	43	43	43
DesAN- 10x10- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN- 20x20- TF	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
DesAN- 5x5- TF	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
ElevSM- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ElevSM- 20x20- TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM- 5x5- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla- 20x20- TF	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	81	81	81	81	81	81
GraPla- 5x5- TF	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
SCH- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SCH- 20x20- TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	30	30	30	30	32
SCH- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
SCS- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS- 20x20- TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28
SCS- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem- 10x10- TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SieTem- 20x20- TF	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
SieTem- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 46.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa aérea y subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (toneladas C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10	1.10
CalMed- 20x20- TF	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
CalMed- 5x5- TF	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.96	11.25	11.25	11.25
DesAN- 10x10- TF	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39
DesAN- 20x20- TF	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
DesAN- 5x5- TF	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.75	6.75	6.75
ElevSM- 10x10- TF	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.79	6.73	6.73
ElevSM- 20x20- TF	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
ElevSM- 5x5- TF	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.98	13.98	13.98	13.98	13.97	13.97	13.97	13.97	13.94	13.94	13.94
GraPla- 10x10- TF	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
GraPla- 20x20- TF	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
GraPla- 5x5- TF	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06	14.06
SCH- 10x10- TF	15.13	15.13	15.13	15.13	15.13	15.13	15.13	15.13	15.13	15.13	15.09	15.09	15.09	15.09	15.08	14.92	14.82
SCH- 20x20- TF	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.91	4.74	4.74	4.74	4.74	4.67	4.63	4.59	4.33
SCH- 5x5- TF	31.53	31.53	31.53	31.53	31.53	31.51	31.45	31.30	31.15	30.99	30.87	30.79	30.66	30.56	30.44	30.35	30.24
SCS- 10x10- TF	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.34	13.30	13.30	13.29	13.24	13.21	13.19	13.14	13.12	13.05	13.02
SCS- 20x20- TF	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.68	2.68	2.66	2.65	2.64	2.63
SCS- 5x5- TF	21.02	21.02	21.02	21.02	21.02	20.99	20.98	20.97	20.94	20.93	20.91	20.81	20.80	20.73	20.69	20.62	20.55
SieTem- 10x10- TF	14.72	14.72	14.72	14.72	14.72	14.72	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68	14.61	14.58	14.54	14.54	14.54	14.54
SieTem- 20x20- TF	10.34	10.34	10.34	10.34	10.34	10.34	10.34	10.34	10.34	10.34	10.34	10.34	10.32	10.32	10.32	10.32	10.32
SieTem- 5x5- TF	36.09	36.09	36.09	36.09	36.09	36.09	36.06	36.06	36.03	36.01	35.97	35.92	35.86	35.82	35.75	35.71	35.66

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF - Tierras Forestales

**Cuadro 47.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en biomasa aérea y subterránea por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
CalMed- 20x20- TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed- 5x5- TF	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	47	47	47
DesAN- 10x10- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN- 20x20- TF	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
DesAN- 5x5- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
ElevSM- 10x10- TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ElevSM- 20x20- TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM- 5x5- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla- 20x20- TF	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	83	83	83	83	83	83
GraPla- 5x5- TF	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
SCH- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13
SCH- 20x20- TF	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	30
SCH- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS- 20x20- TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28
SCS- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem- 10x10- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SieTem- 20x20- TF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
SieTem- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF - Tierras Forestales

**Cuadro 48.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en madera muerta por unidad de superficie de cada sub-estrato (toneladas C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
CalMed- 20x20- TF	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
CalMed- 5x5- TF	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.00	2.00	2.00
DesAN- 10x10- TF	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
DesAN- 20x20- TF	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
DesAN- 5x5- TF	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.57	0.57	0.57
ElevSM- 10x10- TF	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70
ElevSM- 20x20- TF	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
ElevSM- 5x5- TF	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
GraPla- 10x10- TF	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
GraPla- 20x20- TF	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
GraPla- 5x5- TF	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
SCH- 10x10- TF	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.71	2.68
SCH- 20x20- TF	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.46
SCH- 5x5- TF	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.28	4.27	4.26	4.24	4.22	4.20	4.18
SCS- 10x10- TF	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.44
SCS- 20x20- TF	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23
SCS- 5x5- TF	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.60	1.60	1.59	1.59
SieTem- 10x10- TF	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
SieTem- 20x20- TF	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
SieTem- 5x5- TF	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.44	2.44	2.43	2.43	2.43

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 49.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en madera muerta por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
CalMed- 20x20- TF	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
CalMed- 5x5- TF	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
DesAN- 10x10- TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
DesAN- 20x20- TF	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DesAN- 5x5- TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	29	29	29
ElevSM- 10x10- TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ElevSM- 20x20- TF	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	39	39	39	39
ElevSM- 5x5- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
GraPla- 10x10- TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
GraPla- 20x20- TF	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	50	50	50	50	50	50
GraPla- 5x5- TF	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
SCH- 10x10- TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22
SCH- 20x20- TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	32
SCH- 5x5- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS- 10x10- TF	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SCS- 20x20- TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	32	32	32
SCS- 5x5- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
SieTem- 10x10- TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
SieTem- 20x20- TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
SieTem- 5x5- TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SCS - Selvas Cálido-Secas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 50.** Estimadores de razón del contenido de carbono forestal en mantillo por unidad de superficie de cada sub-estrato (toneladas C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
CalMed- 20x20- TF	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
CalMed- 5x5- TF	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.02	2.02	2.02
DesAN- 10x10- TF	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
DesAN- 20x20- TF	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
DesAN- 5x5- TF	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
ElevSM- 10x10- TF	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75
ElevSM- 20x20- TF	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
ElevSM- 5x5- TF	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
GraPla- 10x10- TF	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
GraPla- 20x20- TF	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
GraPla- 5x5- TF	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06
SCH- 10x10- TF	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.12	1.11	1.11
SCH- 20x20- TF	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.35
SCH- 5x5- TF	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.81	2.80	2.79	2.78	2.76	2.74	2.73	2.72
SCS- 10x10- TF	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89
SCS- 20x20- TF	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.39	0.39	0.39
SCS- 5x5- TF	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.36	1.35	1.35	1.34	1.34
SieTem- 10x10- TF	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
SieTem- 20x20- TF	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
SieTem- 5x5- TF	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.41	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40

CalMed - California Mediterránea  
DesAN - Desiertos de América del Norte  
ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
TF- Tierras Forestales

**Cuadro 51.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono forestal en mantillo por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
CalMed- 20x20- TF	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
CalMed- 5x5- TF	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	61	61	61
DesAN- 10x10- TF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
DesAN- 20x20- TF	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
DesAN- 5x5- TF	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
ElevSM- 10x10- TF	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
ElevSM- 20x20- TF	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31
ElevSM- 5x5- TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
GraPla- 10x10- TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla- 20x20- TF	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	63	63
GraPla- 5x5- TF	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
SCH- 10x10- TF	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24
SCH- 20x20- TF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	36
SCH- 5x5- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS- 10x10- TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
SCS- 20x20- TF	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	56	56	56
SCS- 5x5- TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12
SieTem- 10x10- TF	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
SieTem- 20x20- TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
SieTem- 5x5- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

CalMed - California Mediterránea  
DesAN - Desiertos de América del Norte  
ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
TF- Tierras Forestales

**Cuadro 52.** Estimadores de razón del contenido de carbono orgánico en el suelo de Tierras Forestales por unidad de superficie de cada sub-estrato (toneladas C/ha)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	25.11	25.11	25.11	25.11	25.11	25.11	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	24.78	24.78	24.54	24.42	24.42
CalMed- 20x20- TF	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46
CalMed- 5x5- TF	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.51	26.00	26.00	26.00
DesAN- 10x10- TF	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52	11.48	11.48	11.46	11.44	11.43	11.43	11.43	11.42	11.42	11.39
DesAN- 20x20- TF	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
DesAN- 5x5- TF	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.69	24.55	24.55	24.49	24.49	24.49
ElevSM- 10x10- TF	21.52	21.52	21.52	21.52	21.52	21.06	21.06	21.06	21.06	20.78	20.78	20.78	20.78	20.78	20.37	20.15	20.15
ElevSM- 20x20- TF	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.68	6.68	6.68	6.63	6.63	6.63	6.59	6.59
ElevSM- 5x5- TF	21.47	21.47	21.47	21.47	21.47	21.47	21.45	21.45	21.45	21.45	21.42	21.42	21.42	21.36	21.36	21.33	21.33
GraPla- 10x10- TF	26.56	26.56	26.51	26.51	26.51	26.47	26.47	26.47	26.41	26.35	26.25	26.25	26.20	26.20	26.20	26.10	26.10
GraPla- 20x20- TF	9.09	9.09	9.09	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.52	8.52	8.34	8.34	8.34	8.34
GraPla- 5x5- TF	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
SCH- 10x10- TF	25.72	25.58	25.58	25.58	25.45	25.45	25.45	25.33	25.33	25.26	25.14	25.14	25.14	25.14	24.99	24.73	24.48
SCH- 20x20- TF	10.27	10.21	10.03	9.98	9.79	9.79	9.79	9.69	9.69	9.47	9.36	9.36	9.26	9.16	9.06	8.96	8.59
SCH- 5x5- TF	37.10	37.08	36.97	36.90	36.76	36.62	36.46	36.25	36.02	35.71	35.51	35.34	35.14	34.93	34.68	34.50	34.32
SCS- 10x10- TF	20.18	20.16	20.12	20.02	19.99	19.94	19.92	19.89	19.87	19.83	19.76	19.69	19.66	19.60	19.55	19.48	19.46
SCS- 20x20- TF	8.72	8.72	8.64	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54	8.42	8.42	8.42	8.34	8.31	8.24	8.04	7.92	7.81
SCS- 5x5- TF	25.15	25.12	25.08	25.08	25.03	24.99	24.99	24.98	24.92	24.90	24.84	24.73	24.69	24.55	24.49	24.43	24.40
SieTem- 10x10- TF	25.89	25.89	25.89	25.89	25.89	25.72	25.66	25.66	25.66	25.66	25.66	25.52	25.44	25.36	25.30	25.30	25.30
SieTem- 20x20- TF	13.33	13.33	13.33	13.33	13.33	13.33	13.33	13.33	13.33	13.33	13.33	13.33	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13
SieTem- 5x5- TF	30.02	30.00	29.98	29.96	29.95	29.90	29.88	29.86	29.83	29.77	29.75	29.70	29.63	29.60	29.53	29.48	29.44

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 53.** Incertidumbres de los estimadores de razón del contenido de carbono orgánico en suelos de Tierras Forestales por unidad de superficie de cada sub-estrato (%)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5
CalMed- 20x20- TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
CalMed- 5x5- TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DesAN- 10x10- TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DesAN- 20x20- TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
DesAN- 5x5- TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
ElevSM- 10x10- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8
ElevSM- 20x20- TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
ElevSM- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
GraPla- 10x10- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
GraPla- 20x20- TF	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22
GraPla- 5x5- TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCH- 10x10- TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
SCH- 20x20- TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	17
SCH- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SCS- 10x10- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS- 20x20- TF	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16
SCS- 5x5- TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SieTem- 10x10- TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SieTem- 20x20- TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SieTem- 5x5- TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

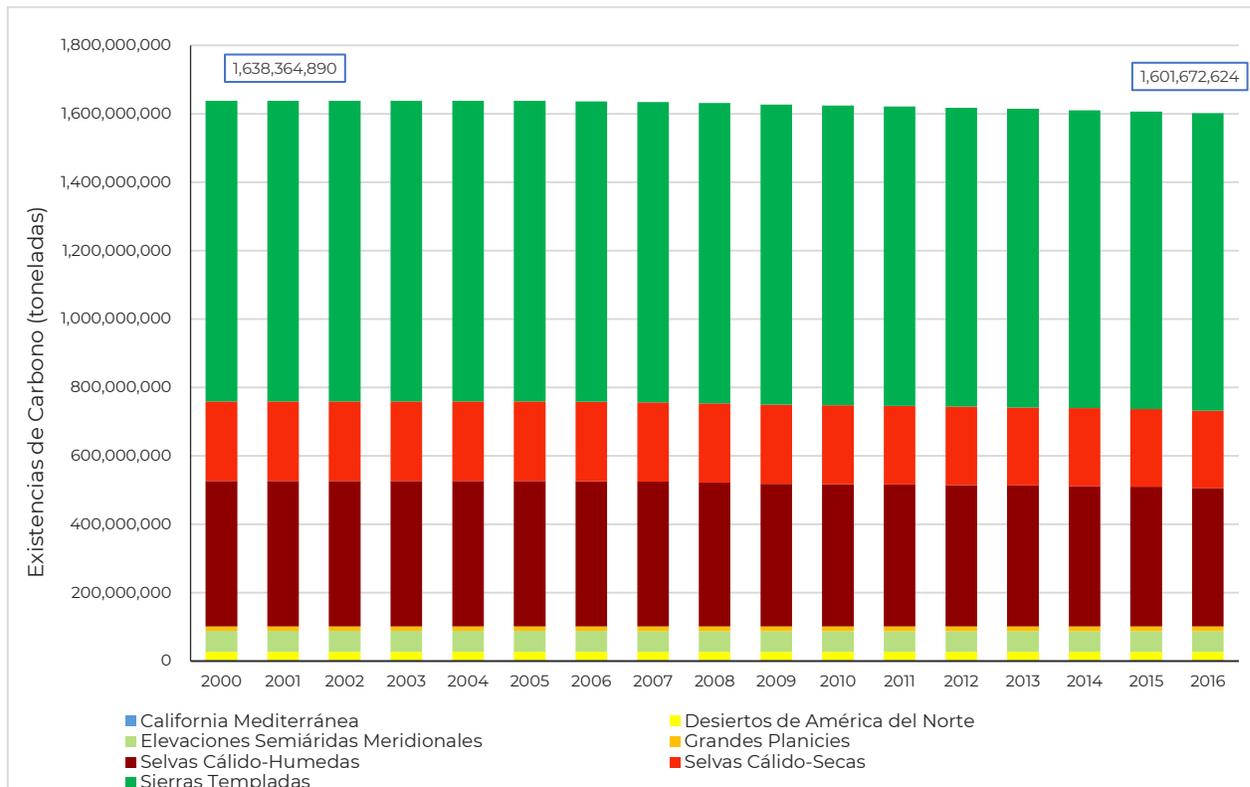
SieTem - Sierras Templadas  
 TF- Tierras Forestales

### 9.2.2. Existencias de Carbono en las Tierras Forestales de México por ecorregión y reservorio

Los ER anteriores fueron multiplicados por las respectivas superficies de cada sub-estrato, con la finalidad de estimar las existencias de carbono en las Tierras Forestales de México por sub-estrato y reservorio. Estos datos, y sus incertidumbres asociadas, se encuentran del **Cuadro 54** al **Cuadro 65**. Una agregación de esta información a nivel de ecorregión se presenta en las siguientes gráficas.

#### 9.2.2.1. Biomasa aérea

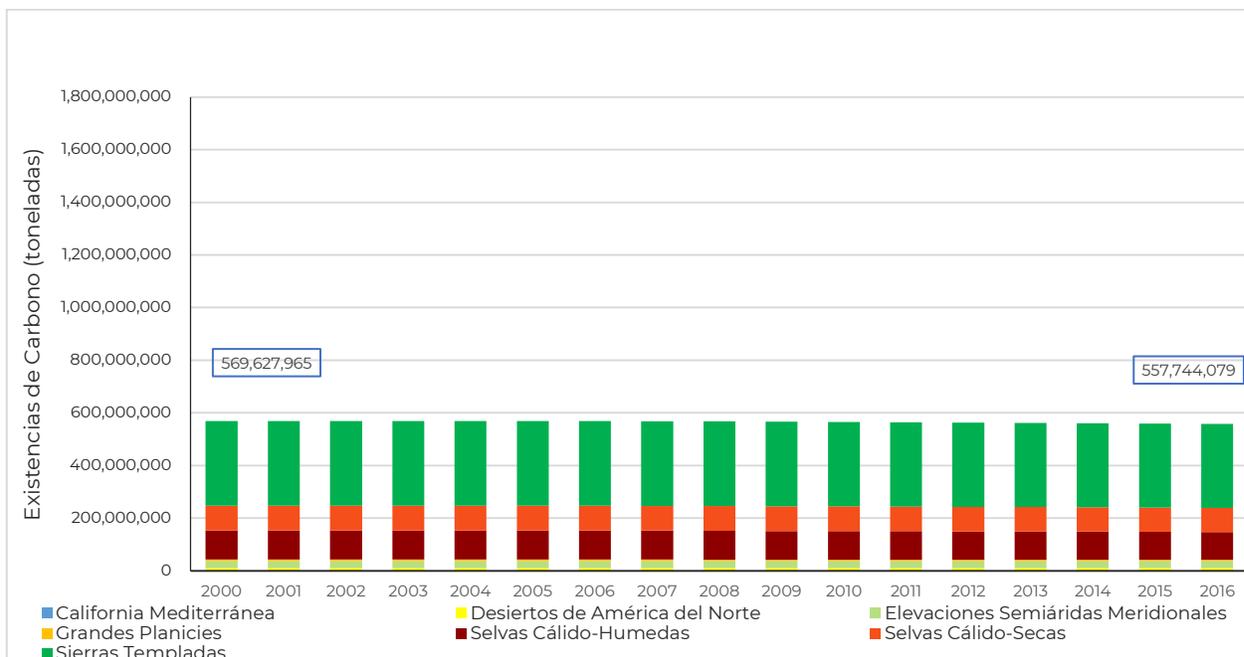
Las existencias de carbono en las Tierras Forestales de México, correspondientes a la BA, muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 1,638,364,890 t C en 2000 a 1,601,672,624 t C en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 63**).



**Figura 63.** Existencias anuales de carbono en biomasa aérea de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016

#### 9.2.2.2. Biomasa subterránea

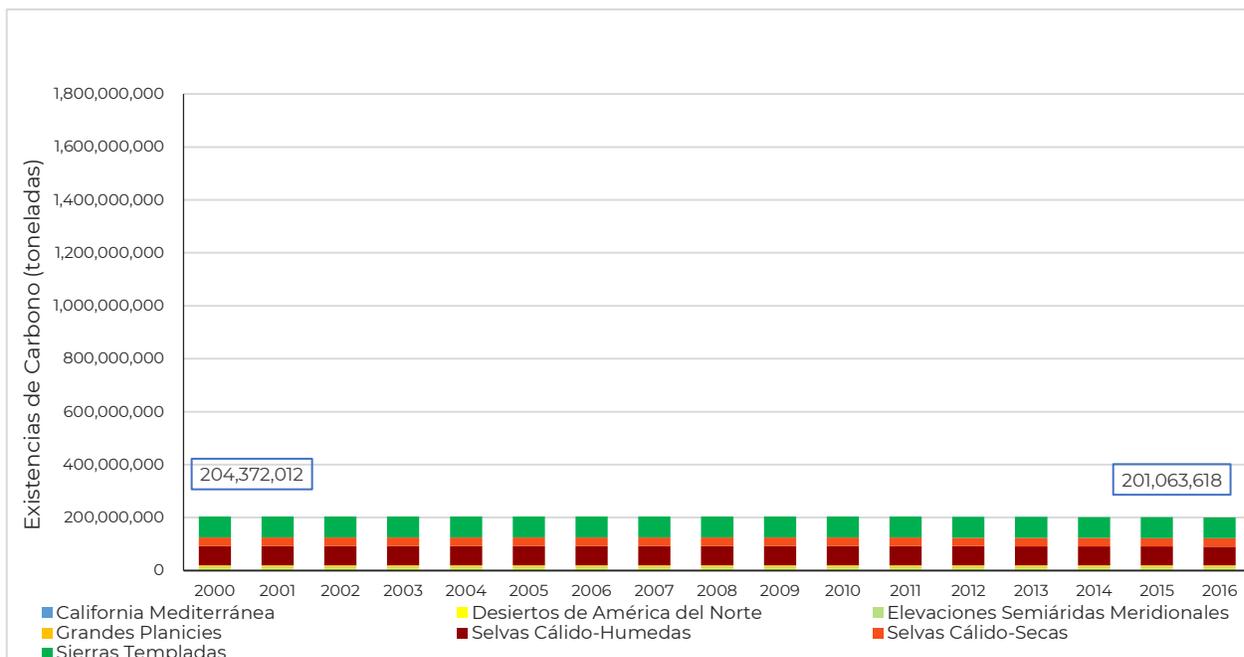
Las existencias de carbono en las Tierras Forestales de México, correspondientes a la BS, muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 569,627,965 t de C en 2000 a 557,744,079 t C en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 64**).



**Figura 64.** Existencias anuales de carbono en biomasa subterránea de Tierras Forestales en el periodo 2000 - 2016

### 9.2.2.3. Madera muerta

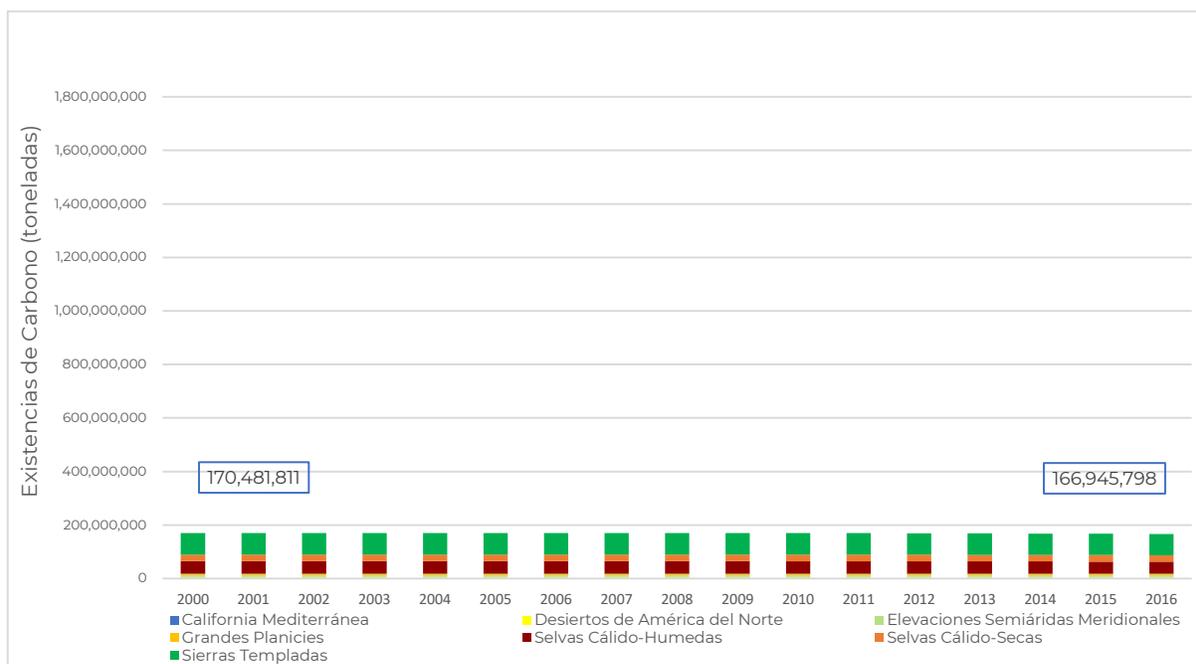
Las existencias de carbono en las Tierras Forestales de México, correspondientes a la madera muerta, muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 204,372,012 t C en 2000 a 201,063,618 t C en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (Figura 65).



**Figura 65.** Existencias anuales de carbono en madera muerta de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016

#### 9.2.2.4. Mantillo

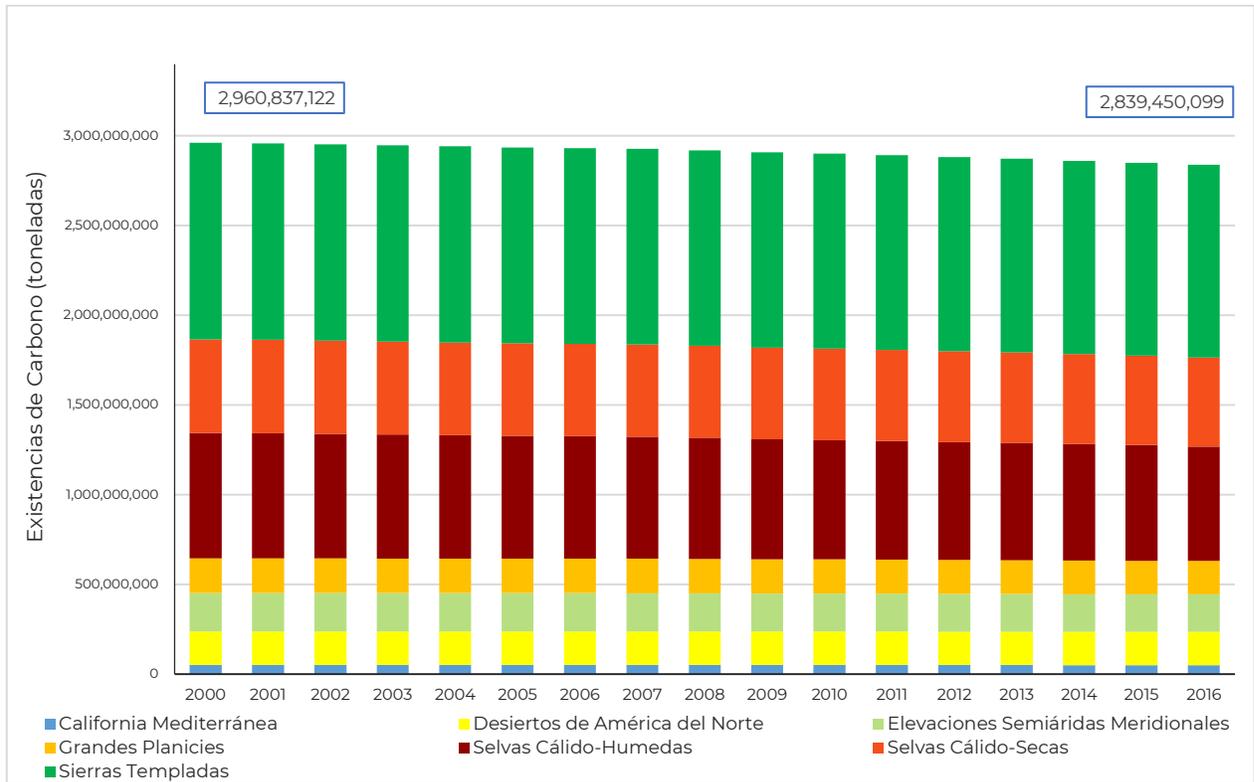
Las existencias de carbono en mantillo en las Tierras Forestales de México muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 170,481,811 t C en 2000 a 166,945,798 t C en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 66**).



**Figura 66.** Existencias anuales de carbono en mantillo de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 – 2016

#### 9.2.2.5. Carbono orgánico en suelos

Las existencias de carbono orgánico en suelos en las Tierras Forestales de México muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando de 2,960,837,122 t C en 2000 a 2,839,450,099 t C en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 67**).



**Figura 67.** Existencias anuales de Carbono en Suelos de Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016

### 9.2.2.6. Suma de los cinco reservorios

Las existencias totales que consideran los cinco reservorios anteriores en las Tierras Forestales de México ascienden a 5,543,683,800 t C en 2000 y muestran una tendencia decreciente en todo el periodo analizado, pasando a 5,366,876,217 t C en 2016. La mayor aportación de estas existencias proviene de la ecorregión de Sierras Templadas, seguida por las Selvas Cálido-Húmedas y las Selvas Cálido-Secas (**Figura 68**).

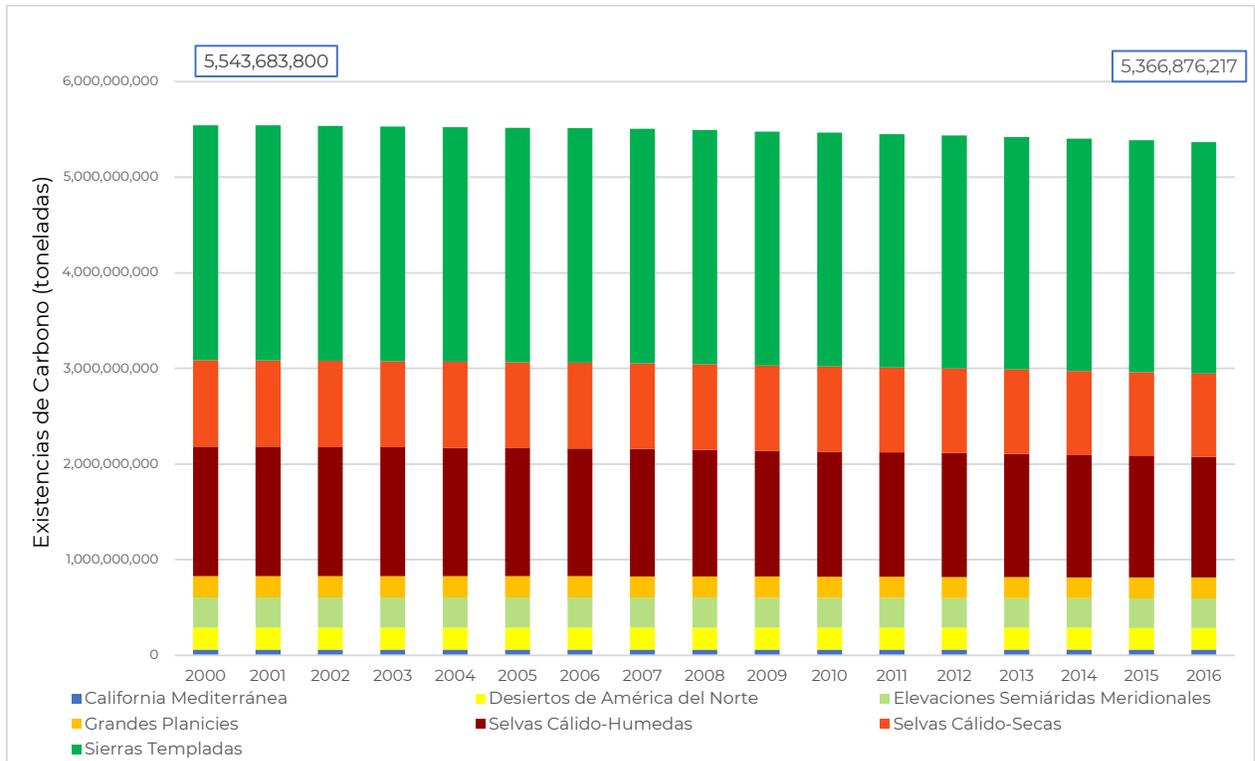


Figura 68. Existencias anuales de Carbono total en Tierras Forestales por ecorregión en el periodo 2000 - 2016

**Cuadro 54.** Existencias de Carbono Forestal en biomasa aérea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	1,225,512	1,225,512	1,225,512	1,225,512	1,225,512	1,225,512	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,223,601	1,208,797	1,208,797
CalMed-20x20-TF	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968	62,968
CalMed-5x5-TF	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,424,175	1,342,816	1,342,816	1,342,816
DesAN-10x10-TF	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,762,818	18,738,052	18,738,052	18,723,191	18,723,191	18,698,477	18,698,477	18,698,477	18,689,535	18,689,535	18,675,084
DesAN-20x20-TF	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455	1,707,455
DesAN-5x5-TF	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,007,736	4,003,816	4,003,816	4,003,816
ElevSM-10x10-TF	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,240,059	6,192,649	6,133,247	6,133,247
ElevSM-20x20-TF	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,792,919	27,761,739	27,761,739	27,761,739	27,761,739	27,717,871	27,685,448	27,685,448
ElevSM-5x5-TF	26,514,141	26,514,141	26,514,141	26,514,141	26,514,141	26,514,141	26,494,149	26,494,149	26,494,149	26,494,149	26,483,483	26,483,483	26,483,483	26,483,483	26,416,470	26,416,470	26,412,551
GraPla-10x10-TF	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,438,751	9,403,003	9,402,144	9,401,702	9,401,702	9,401,702	9,401,702	9,401,702	9,401,702
GraPla-20x20-TF	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,597,769	2,545,462	2,545,462	2,545,462	2,545,462	2,545,462	2,545,462
GraPla-5x5-TF	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389	1,563,389
SCH-10x10-TF	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,476,613	28,473,181	28,395,186	28,395,186	28,395,186	28,395,186	28,374,514	28,073,927	27,879,003
SCH-20x20-TF	42,611,164	42,611,164	42,611,164	42,611,164	42,611,164	42,611,164	42,611,164	42,611,164	41,823,457	40,245,573	40,245,573	40,245,573	40,245,573	39,680,645	39,359,135	38,994,161	36,741,498
SCH-5x5-TF	354,313,253	354,313,253	354,313,253	354,313,253	354,313,253	354,313,253	354,069,785	353,451,191	351,856,634	350,274,522	348,540,278	347,290,533	346,371,023	344,987,560	343,864,992	342,472,210	341,524,616
SCS-10x10-TF	143,534,042	143,534,042	143,534,042	143,534,042	143,534,042	143,534,042	143,520,684	143,107,680	143,055,270	143,004,525	142,488,685	142,062,453	141,870,837	141,412,281	141,132,721	140,439,458	140,119,367
SCS-20x20-TF	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,583,118	24,018,550	24,018,550	23,837,016	23,756,030	23,687,964	23,569,566
SCS-5x5-TF	64,165,882	64,165,882	64,165,882	64,165,882	64,165,882	64,070,415	64,044,132	64,016,848	63,940,424	63,895,947	63,834,655	63,551,055	63,506,359	63,316,412	63,159,451	62,922,944	62,717,540
SieTem-10x10-TF	33,581,593	33,581,593	33,581,593	33,581,593	33,581,593	33,581,593	33,501,288	33,501,288	33,501,288	33,501,288	33,501,288	33,348,852	33,296,535	33,197,681	33,195,082	33,195,082	33,195,082
SieTem-20x20-TF	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,792,417	84,657,708	84,657,708	84,657,708	84,657,708	84,657,708
SieTem-5x5-TF	760,969,117	760,969,117	760,969,117	760,969,117	760,969,117	760,832,698	760,268,351	760,224,450	759,693,702	759,118,565	758,394,703	757,243,022	755,845,230	755,106,314	753,579,337	752,767,595	751,726,925

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 55.** Incertidumbre de las existencias de carbono forestal en biomasa aérea ecorregión y equidistancia de muestreo

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
CalMed-20x20-TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed-5x5-TF	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	49	49	49
DesAN-10x10-TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN-20x20-TF	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DesAN-5x5-TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
ElevSM-10x10-TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ElevSM-20x20-TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM-5x5-TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla-10x10-TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla-20x20-TF	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	84	84	84	84	84	84
GraPla-5x5-TF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
SCH-10x10-TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13
SCH-20x20-TF	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	30
SCH-5x5-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS-10x10-TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCS-20x20-TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29
SCS-5x5-TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem-10x10-TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SieTem-20x20-TF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20
SieTem-5x5-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 56.** Existencias de carbono forestal en biomasa subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	492,573	492,573	492,573	492,573	492,573	492,573	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	491,809	483,519	483,519
CalMed-20x20-TF	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187	25,187
CalMed-5x5-TF	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	497,893	465,350	465,350	465,350
DesAN-10x10-TF	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,597,119	7,587,213	7,587,213	7,582,978	7,582,978	7,573,092	7,573,092	7,573,092	7,569,515	7,569,515	7,563,735
DesAN-20x20-TF	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409	682,409
DesAN-5x5-TF	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,643,448	1,642,664	1,642,664	1,642,664
ElevSM-10x10-TF	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,912,165	2,885,615	2,861,854	2,861,854
ElevSM-20x20-TF	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,738,296	11,725,824	11,725,824	11,725,824	11,708,277	11,708,277	11,708,277	11,695,308	11,695,308
ElevSM-5x5-TF	11,694,598	11,694,598	11,694,598	11,694,598	11,694,598	11,694,598	11,686,002	11,686,002	11,686,002	11,686,002	11,681,096	11,681,096	11,681,096	11,681,096	11,650,270	11,650,270	11,648,467
GraPla-10x10-TF	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,797,988	3,787,800	3,787,456	3,787,280	3,787,280	3,787,280	3,787,280	3,787,280	3,787,280	3,787,280
GraPla-20x20-TF	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	917,973	897,050	897,050	897,050	897,050	897,050	897,050
GraPla-5x5-TF	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216	686,216
SCH-10x10-TF	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,945,422	5,944,443	5,928,845	5,928,845	5,928,845	5,928,845	5,921,971	5,861,854	5,822,869
SCH-20x20-TF	12,306,834	12,306,834	12,306,834	12,306,834	12,306,834	12,306,834	12,306,834	12,306,834	12,149,293	11,833,716	11,833,716	11,833,716	11,833,716	11,655,210	11,573,747	11,500,752	10,862,069
SCH-5x5-TF	92,771,438	92,771,438	92,771,438	92,771,438	92,771,438	92,691,670	92,474,713	91,956,079	91,418,683	90,844,034	90,460,946	90,174,079	89,789,362	89,501,973	89,076,667	88,763,149	88,430,647
SCS-10x10-TF	60,710,561	60,710,561	60,710,561	60,710,561	60,710,561	60,710,561	60,706,754	60,591,113	60,561,763	60,539,701	60,335,477	60,192,816	60,085,511	59,887,590	59,784,592	59,473,066	59,346,858
SCS-20x20-TF	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,998,246	8,775,618	8,775,618	8,723,880	8,700,800	8,673,573	8,639,830
SCS-5x5-TF	24,488,214	24,488,214	24,488,214	24,488,214	24,488,214	24,453,567	24,438,849	24,426,298	24,391,989	24,372,713	24,351,854	24,234,845	24,212,563	24,131,301	24,091,718	24,030,650	23,970,496
SieTem-10x10-TF	13,581,467	13,581,467	13,581,467	13,581,467	13,581,467	13,581,467	13,536,496	13,536,496	13,536,496	13,536,496	13,536,496	13,466,079	13,436,782	13,396,352	13,395,271	13,395,271	13,395,271
SieTem-20x20-TF	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,957,632	30,919,240	30,919,240	30,919,240	30,919,240	30,919,240
SieTem-5x5-TF	277,182,286	277,182,286	277,182,286	277,182,286	277,182,286	277,126,612	276,936,038	276,917,471	276,739,238	276,517,045	276,298,102	275,933,182	275,458,878	275,191,881	274,604,467	274,327,806	273,917,761

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 57.** Incertidumbre de las existencias de carbono forestal en biomasa subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	61	61
CalMed-20x20-TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed-5x5-TF	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	43	43	43
DesAN-10x10-TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN-20x20-TF	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
DesAN-5x5-TF	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
ElevSM-10x10-TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ElevSM-20x20-TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM-5x5-TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla-10x10-TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla-20x20-TF	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	81	81	81	81	81	81
GraPla-5x5-TF	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
SCH-10x10-TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SCH-20x20-TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	30	30	30	32
SCH-5x5-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
SCS-10x10-TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS-20x20-TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28
SCS-5x5-TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem-10x10-TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SieTem-20x20-TF	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
SieTem-5x5-TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 58.** Existencias de carbono forestal en biomasa aérea y subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	1,718,085	1,718,085	1,718,085	1,718,085	1,718,085	1,718,085	1,715,410	1,715,410	1,715,410	1,715,410	1,715,410	1,715,410	1,715,410	1,715,410	1,715,410	1,692,316	1,692,316
CalMed-20x20-TF	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155	88,155
CalMed-5x5-TF	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,922,068	1,808,166	1,808,166	1,808,166
DesAN-10x10-TF	26,359,938	26,359,938	26,359,938	26,359,938	26,359,938	26,359,938	26,359,938	26,325,265	26,325,265	26,306,169	26,306,169	26,271,569	26,271,569	26,271,569	26,259,050	26,259,050	26,238,818
DesAN-20x20-TF	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864	2,389,864
DesAN-5x5-TF	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,651,184	5,646,479	5,646,479	5,646,479
ElevSM-10x10-TF	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,152,223	9,078,264	8,995,101	8,995,101
ElevSM-20x20-TF	39,531,216	39,531,216	39,531,216	39,531,216	39,531,216	39,531,216	39,531,216	39,531,216	39,531,216	39,487,563	39,487,563	39,487,563	39,426,147	39,426,147	39,426,147	39,380,756	39,380,756
ElevSM-5x5-TF	38,208,738	38,208,738	38,208,738	38,208,738	38,208,738	38,208,738	38,180,151	38,180,151	38,180,151	38,180,151	38,164,579	38,164,579	38,164,579	38,164,579	38,066,740	38,066,740	38,061,018
GraPla-10x10-TF	13,236,740	13,236,740	13,236,740	13,236,740	13,236,740	13,236,740	13,236,740	13,236,740	13,190,802	13,189,600	13,188,981	13,188,981	13,188,981	13,188,981	13,188,981	13,188,981	13,188,981
GraPla-20x20-TF	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,515,741	3,442,512	3,442,512	3,442,512	3,442,512	3,442,512	3,442,512
GraPla-5x5-TF	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605	2,249,605
SCH-10x10-TF	34,422,034	34,422,034	34,422,034	34,422,034	34,422,034	34,422,034	34,422,034	34,422,034	34,422,034	34,417,624	34,324,031	34,324,031	34,324,031	34,324,031	34,296,485	33,935,781	33,701,872
SCH-20x20-TF	54,917,998	54,917,998	54,917,998	54,917,998	54,917,998	54,917,998	54,917,998	54,917,998	53,972,750	52,079,289	52,079,289	52,079,289	52,079,289	51,335,856	50,932,882	50,494,913	47,603,567
SCH-5x5-TF	447,084,691	447,084,691	447,084,691	447,084,691	447,084,691	446,761,455	445,925,904	443,812,713	441,693,205	439,384,313	437,751,479	436,545,102	434,776,921	433,366,965	431,548,876	430,287,765	428,753,846
SCS-10x10-TF	204,244,603	204,244,603	204,244,603	204,244,603	204,244,603	204,244,603	204,227,438	203,698,792	203,617,033	203,544,227	202,824,161	202,255,269	201,956,348	201,299,871	200,917,313	199,912,525	199,466,225
SCS-20x20-TF	33,581,364	33,581,364	33,581,364	33,581,364	33,581,364	33,581,364	33,581,364	33,581,364	33,581,364	33,581,364	33,581,364	32,794,167	32,794,167	32,560,896	32,456,830	32,361,537	32,209,396
SCS-5x5-TF	88,654,096	88,654,096	88,654,096	88,654,096	88,654,096	88,523,982	88,482,981	88,443,146	88,332,413	88,268,660	88,186,509	87,785,900	87,718,922	87,447,713	87,251,168	86,953,594	86,688,036
SieTem-10x10-TF	47,163,060	47,163,060	47,163,060	47,163,060	47,163,060	47,037,784	47,037,784	47,037,784	47,037,784	47,037,784	47,037,784	46,814,932	46,733,317	46,594,033	46,590,354	46,590,354	46,590,354
SieTem-20x20-TF	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,750,049	115,576,948	115,576,948	115,576,948	115,576,948	115,576,948
SieTem-5x5-TF	1,038,151,403	1,038,151,403	1,038,151,403	1,038,151,403	1,038,151,403	1,037,959,310	1,037,204,389	1,037,141,921	1,036,432,940	1,035,635,610	1,034,692,805	1,033,176,204	1,031,304,108	1,030,298,195	1,028,183,804	1,027,095,401	1,025,644,687

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 59.** Incertidumbre de las existencias de carbono forestal en biomasa aérea y subterránea por ecorregión y equidistancia de muestreo

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
CalMed-20x20-TF	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CalMed-5x5-TF	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	47	47	47
DesAN-10x10-TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DesAN-20x20-TF	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
DesAN-5x5-TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
ElevSM-10x10-TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ElevSM-20x20-TF	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ElevSM-5x5-TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
GraPla-10x10-TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla-20x20-TF	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	83	83	83	83	83	83
GraPla-5x5-TF	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
SCH-10x10-TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13
SCH-20x20-TF	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	30
SCH-5x5-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS-10x10-TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS-20x20-TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28
SCS-5x5-TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SieTem-10x10-TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SieTem-20x20-TF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
SieTem-5x5-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF- Tierras Forestales

**Cuadro 60.** Existencias anuales de carbono para madera muerta por tipo de ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953	876,953
CalMed-20x20-TF	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735	120,735
CalMed-5x5-TF	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	325,479	320,999	320,999	320,999
DesAN-10x10-TF	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,092,214	4,083,973	4,083,973	4,083,973	4,081,394	4,081,394	4,075,474
DesAN-20x20-TF	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486	1,015,486
DesAN-5x5-TF	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	525,775	478,411	478,411	478,411
ElevSM-10x10-TF	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	959,878	948,446	939,289	939,289
ElevSM-20x20-TF	3,663,340	3,663,340	3,663,340	3,663,340	3,663,340	3,663,340	3,663,340	3,663,340	3,663,340	3,555,320	3,555,320	3,555,320	3,524,028	3,524,028	3,524,028	3,508,625	3,508,625
ElevSM-5x5-TF	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,552,611	2,547,641	2,547,641	2,545,843
GraPla-10x10-TF	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,775,983	4,772,325	4,772,325
GraPla-20x20-TF	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,080,880	1,043,979	1,043,979	1,043,979	1,043,979	1,043,979	1,043,979
GraPla-5x5-TF	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710	172,710
SCH-10x10-TF	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,242,745	6,240,023	6,162,551	6,102,033
SCH-20x20-TF	5,274,648	5,274,648	5,274,648	5,274,648	5,274,648	5,274,648	5,274,648	5,274,648	5,274,648	5,274,648	5,266,545	5,266,545	5,266,545	5,266,545	5,261,720	5,217,632	5,034,536
SCH-5x5-TF	60,815,889	60,815,889	60,815,889	60,815,889	60,815,889	60,815,889	60,815,889	60,815,889	60,815,889	60,807,322	60,712,420	60,612,538	60,353,061	60,079,875	59,765,275	59,533,659	59,270,580
SCS-10x10-TF	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,288,407	22,247,867	22,221,994	22,195,336	22,190,591	22,140,774	22,115,629
SCS-20x20-TF	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,989,219	2,954,268	2,954,268	2,944,170	2,904,249	2,904,249	2,855,223
SCS-5x5-TF	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,871,883	6,858,168	6,768,808	6,740,679	6,726,195	6,717,808
SieTem-10x10-TF	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,635,125	3,592,392	3,592,392	3,587,185	3,578,277	3,578,277	3,578,277
SieTem-20x20-TF	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,659,090	5,646,113	5,646,113	5,646,113	5,646,113	5,646,113
SieTem-5x5-TF	70,432,963	70,432,963	70,432,963	70,432,963	70,432,963	70,432,963	70,432,963	70,432,963	70,432,963	70,432,806	70,421,726	70,369,395	70,250,990	70,169,636	70,008,442	69,950,446	69,872,590

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 61.** Incertidumbre de las existencias anuales de Carbono para madera muerta por tipo de ecorregión, equidistancia de muestreo y categoría IPCC

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
CalMed-20x20-TF	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
CalMed-5x5-TF	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
DesAN-10x10-TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
DesAN-20x20-TF	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DesAN-5x5-TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	29	29	29
ElevSM-10x10-TF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ElevSM-20x20-TF	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39
ElevSM-5x5-TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
GraPla-10x10-TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
GraPla-20x20-TF	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	50	50	50	50	50	50
GraPla-5x5-TF	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
SCH-10x10-TF	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22
SCH-20x20-TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	32
SCH-5x5-TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS-10x10-TF	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
SCS-20x20-TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	32	32	32
SCS-5x5-TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
SieTem-10x10-TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
SieTem-20x20-TF	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
SieTem-5x5-TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

CalMed - California Mediterránea

DesAN - Desiertos de América del Norte

ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies

SCH - Selvas Cálido-Húmedas

SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas

TF- Tierras Forestales

**Cuadro 62.** Existencias del contenido de carbono orgánico en mantillo por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572	1,682,572
CalMed-20x20-TF	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033	133,033
CalMed-5x5-TF	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	339,772	324,518	324,518	324,518
DesAN-10x10-TF	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,828,439	2,827,176	2,827,176	2,827,176	2,820,923	2,820,923	2,820,165
DesAN-20x20-TF	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496	381,496
DesAN-5x5-TF	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	879,111	877,385	877,385	877,385
ElevSM-10x10-TF	1,016,481	1,016,481	1,016,481	1,016,481	1,016,481	1,016,481	1,016,481	1,016,481	1,016,481	1,014,307	1,014,307	1,014,307	1,014,307	1,014,307	1,007,931	1,007,931	1,007,931
ElevSM-20x20-TF	2,523,189	2,523,189	2,523,189	2,523,189	2,523,189	2,523,189	2,523,189	2,523,189	2,523,189	2,477,455	2,477,455	2,477,455	2,460,925	2,460,925	2,460,925	2,433,060	2,433,060
ElevSM-5x5-TF	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971	2,998,971
GraPla-10x10-TF	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,850,877	4,848,978	4,848,978
GraPla-20x20-TF	422,939	422,939	422,939	422,939	422,939	422,939	422,939	422,939	422,939	422,939	422,939	411,388	411,388	411,388	411,388	411,388	411,388
GraPla-5x5-TF	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453	329,453
SCH-10x10-TF	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,564,512	2,554,324	2,522,627	2,515,789
SCH-20x20-TF	4,164,536	4,164,536	4,164,536	4,164,536	4,164,536	4,164,536	4,164,536	4,164,536	4,164,536	4,154,085	4,154,085	4,154,085	4,143,172	4,109,566	4,066,991	4,066,991	3,805,596
SCH-5x5-TF	39,985,197	39,985,197	39,985,197	39,985,197	39,985,197	39,985,197	39,985,197	39,985,197	39,985,197	39,880,052	39,706,627	39,617,881	39,371,235	39,115,898	38,882,559	38,680,170	38,570,329
SCS-10x10-TF	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,831,963	13,785,414	13,763,713	13,747,356	13,747,356	13,669,965	13,642,032
SCS-20x20-TF	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,157,673	5,133,224	5,133,224	5,133,224	4,712,810	4,712,810	4,712,810
SCS-5x5-TF	5,787,301	5,787,301	5,787,301	5,787,301	5,787,301	5,787,301	5,787,301	5,787,301	5,787,301	5,787,301	5,777,244	5,745,271	5,705,507	5,673,570	5,640,816	5,635,612	5,635,612
SieTem-10x10-TF	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,987,925	3,952,764	3,952,764	3,940,092	3,936,712	3,936,712	3,936,712
SieTem-20x20-TF	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	7,025,493	6,979,126	6,979,126	6,979,126	6,979,126	6,979,126
SieTem-5x5-TF	69,590,878	69,590,878	69,590,878	69,590,878	69,590,878	69,590,878	69,590,878	69,590,878	69,590,878	69,577,193	69,571,635	69,497,097	69,203,573	69,155,134	69,038,894	69,011,697	68,898,842

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF - Tierras Forestales

**Cuadro 63.** Incertidumbre de las existencias del contenido de carbono orgánico en mantillo por ecorregión y equidistancia de muestreo

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
CalMed-20x20-TF	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
CalMed-5x5-TF	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	61	61	61
DesAN-10x10-TF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
DesAN-20x20-TF	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
DesAN-5x5-TF	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
ElevSM-10x10-TF	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
ElevSM-20x20-TF	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31
ElevSM-5x5-TF	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
GraPla-10x10-TF	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
GraPla-20x20-TF	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	63	63
GraPla-5x5-TF	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
SCH-10x10-TF	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24
SCH-20x20-TF	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	36
SCH-5x5-TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SCS-10x10-TF	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
SCS-20x20-TF	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	56	56	56
SCS-5x5-TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12
SieTem-10x10-TF	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
SieTem-20x20-TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
SieTem-5x5-TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF - Tierras Forestales

**Cuadro 64.** Existencias del contenido de carbono orgánico en Suelos por ecorregión y equidistancia de muestreo (Toneladas)

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	38,767,093	38,767,093	38,767,093	38,767,093	38,767,093	38,767,093	38,596,342	38,596,342	38,596,342	38,596,342	38,596,342	38,596,342	38,250,874	38,250,874	37,882,858	37,700,638	37,700,638
CalMed-20x20-TF	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699	8,487,699
CalMed-5x5-TF	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,258,686	4,177,905	4,177,905	4,177,905
DesAN-10x10-TF	126,731,024	126,731,024	126,731,024	126,731,024	126,731,024	126,731,024	126,731,024	126,315,509	126,315,509	126,089,798	125,840,472	125,761,543	125,761,543	125,761,543	125,609,356	125,609,356	125,272,775
DesAN-20x20-TF	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370	39,219,370
DesAN-5x5-TF	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,649,685	20,531,267	20,531,267	20,480,447	20,480,447	20,480,447
ElevSM-10x10-TF	28,761,391	28,761,391	28,761,391	28,761,391	28,761,391	28,147,108	28,147,108	28,147,108	28,147,108	27,767,429	27,767,429	27,767,429	27,767,429	27,767,429	27,223,700	26,936,408	26,936,408
ElevSM-20x20-TF	126,725,812	126,725,812	126,725,812	126,725,812	126,725,812	126,725,812	126,725,812	126,725,812	126,725,812	125,516,313	125,516,313	125,516,313	124,602,241	124,602,241	124,602,241	123,811,530	123,811,530
ElevSM-5x5-TF	58,639,591	58,639,591	58,639,591	58,639,591	58,639,591	58,639,591	58,592,119	58,592,119	58,592,119	58,592,119	58,592,119	58,592,119	58,503,612	58,503,612	58,336,823	58,336,823	58,264,433
GraPla-10x10-TF	141,102,282	141,102,282	140,839,706	140,839,706	140,839,706	140,839,706	140,624,735	140,624,735	140,624,735	140,287,450	140,002,733	139,475,007	139,475,007	139,192,870	139,192,870	138,671,126	138,671,126
GraPla-20x20-TF	47,310,788	47,310,788	47,310,788	46,063,447	46,063,447	46,063,447	46,063,447	46,063,447	46,063,447	46,063,447	46,063,447	46,063,447	44,330,016	44,330,016	43,370,332	43,370,332	43,370,332
GraPla-5x5-TF	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310	5,281,310
SCH-10x10-TF	58,493,816	58,184,217	58,184,217	58,184,217	57,897,310	57,897,310	57,897,310	57,897,310	57,897,310	57,620,205	57,465,451	57,171,051	57,171,051	57,171,051	57,171,051	56,848,653	56,239,031
SCH-20x20-TF	112,946,177	112,314,116	110,252,090	109,791,147	107,716,306	107,716,306	107,716,306	107,716,306	106,602,414	104,158,181	102,967,883	102,967,883	101,829,076	100,776,923	99,602,831	98,531,250	94,433,927
SCH-5x5-TF	526,000,760	525,703,353	524,240,827	523,166,811	521,232,079	519,168,896	516,966,437	513,924,535	510,706,717	506,356,564	503,451,697	501,155,545	498,187,009	495,230,939	491,762,816	489,138,336	486,658,583
SCS-10x10-TF	309,078,564	308,718,529	308,049,735	306,605,838	306,074,860	305,302,347	304,999,227	304,638,135	304,258,625	303,657,807	302,651,686	301,484,583	301,152,456	300,086,637	299,375,610	298,373,682	297,939,885
SCS-20x20-TF	106,629,855	106,629,855	105,744,223	104,429,533	104,429,533	104,429,533	104,429,533	104,429,533	104,429,533	102,996,666	102,996,666	102,996,666	102,014,867	101,712,272	100,758,468	98,356,468	96,901,517
SCS-5x5-TF	106,074,272	105,966,610	105,760,455	105,760,455	105,576,450	105,419,792	105,419,501	105,353,167	105,099,864	105,035,116	104,767,734	104,290,238	104,118,013	103,559,599	103,296,996	103,058,653	102,899,510
SieTem-10x10-TF	82,980,797	82,980,797	82,980,797	82,980,797	82,980,797	82,431,740	82,216,998	82,216,998	82,216,998	82,216,998	81,770,908	81,770,908	81,520,064	81,253,685	81,060,720	81,060,720	81,060,720
SieTem-20x20-TF	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	149,267,198	146,944,245	146,944,245	146,944,245	146,944,245	146,944,245
SieTem-5x5-TF	863,430,954	862,847,354	862,215,322	861,859,910	861,466,048	860,055,748	859,361,276	858,721,845	857,891,434	856,214,465	855,548,252	854,104,475	852,285,875	851,386,871	849,217,655	848,017,226	846,639,030

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF - Tierras Forestales

**Cuadro 65.** Incertidumbre de las existencias del contenido de carbono orgánico en suelos por ecorregión y equidistancia de muestreo

Sub-estrato	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CalMed-10x10-TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5
CalMed-20x20-TF	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
CalMed-5x5-TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DesAN-10x10-TF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DesAN-20x20-TF	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
DesAN-5x5-TF	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
ElevSM-10x10-TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8
ElevSM-20x20-TF	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
ElevSM-5x5-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
GraPla-10x10-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
GraPla-20x20-TF	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22
GraPla-5x5-TF	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SCH-10x10-TF	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
SCH-20x20-TF	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	17
SCH-5x5-TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SCS-10x10-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SCS-20x20-TF	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16
SCS-5x5-TF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SieTem-10x10-TF	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SieTem-20x20-TF	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
SieTem-5x5-TF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CalMed - California Mediterránea  
 DesAN - Desiertos de América del Norte  
 ElevSM - Elevaciones Semiáridas Meridionales

GraPla - Grandes Planicies  
 SCH - Selvas Cálido-Húmedas  
 SCS - Selvas Cálido-Secas

SieTem - Sierras Templadas  
 TF - Tierras Forestales

## 10. EMISIONES POR DEFORESTACIÓN BRUTA Y DEGRADACIÓN FORESTAL ABSOLUTA

### 10.1. Enfoque de estimación

La emisión bruta total se obtuvo mediante la diferencia de la existencia anual de carbono para las tierras forestales (en los cinco reservorios) del  $t_2$  y la existencia de carbono en  $t_1$  y se anualizó dividiendo esta diferencia entre la duración del periodo de análisis ( $t_2 - t_1$ ).

La emisión por DFA se obtuvo con la variante de que este análisis de diferencia de existencias se implementó solamente sobre el mismo subconjunto de parcelas que entre  $t_1$  y  $t_2$  permanecieron con la misma categoría de Tierras Forestales. La emisión por deforestación bruta se obtuvo a partir de la diferencia entre la emisión total y la emisión por DFA. A continuación, se ejemplifica el proceso de estimación de las emisiones.

#### 10.1.1. Estimación de emisiones totales y sus incertidumbres

Las emisiones totales se obtuvieron de la diferencia bruta anual de las existencias de carbono (incluyendo los cinco reservorios) en  $t_1$  y  $t_2$ . Por lo tanto, para obtener estas emisiones se recurrió a las estimaciones de las existencias totales anuales de carbono de cada reservorio reportadas en la sección anterior y con estos valores se obtuvo la diferencia total de existencias de carbono entre cada año.

Las emisiones totales se estimaron a partir de la diferencia de las existencias totales de carbono a nivel nacional en el año  $k$  y el año  $k+1$ :

$$\widehat{EB}_l = \widehat{TC}_k - \widehat{TC}_{k+1}$$

Donde:

$\widehat{EB}_l$ : es la emisión total de carbono (en t) a nivel nacional para el periodo  $l$

$\widehat{TC}_k$ : existencia total de carbono (incluyendo los cinco reservorios) a nivel nacional en el año  $k$

$\widehat{TC}_{k+1}$ : existencia total de carbono (incluyendo los cinco reservorios) a nivel nacional en el año  $k+1$

Siguiendo a Ross (2010) y en virtud de que  $\widehat{EB}_l$  es el resultado de la diferencia de  $\widehat{TC}_k$  y  $\widehat{TC}_{k+1}$ , la varianza de  $\widehat{EB}_l$  puede obtenerse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Var(\widehat{EB}_l) = Var(\widehat{TC}_k) + Var(\widehat{TC}_{k+1}) - 2 Cov(\widehat{TC}_k, \widehat{TC}_{k+1})$$

Donde la  $Var(\widehat{TC}_k)$  y la  $Var(\widehat{TC}_{k+1})$  se obtuvieron de acuerdo con lo descrito en la sección 9 y para obtener la estimación de la  $Cov(\widehat{TC}_k, \widehat{TC}_{k+1})$ , se recurrió a la propuesta de Scott (2018), que para el caso particular de las variables de interés de este reporte se procedió con base en la siguiente ecuación:

$$Cov(\widehat{TC}_k, \widehat{TC}_{k+1}) = \frac{(AT_{ij})^2 / N_{ij} * (m - N_{ij} \widehat{ER}_{ijk} \widehat{ER}_{ijk+1})}{N_{ij}(N_{ij} - 1)}$$

Donde:

$m$ : número de parcelas de la clase "Tierra Forestal" en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión que conservan su clase en el año siguiente  $k$ ,

$N_{ij}$ : número total de parcelas muestreadas en la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión y

$AT_{ij}$  área total de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión.

$\widehat{ER}_{ijk}$ : es el estimador de razón para el contenido de carbono de la  $i$ -ésima intensidad de muestreo de la  $j$ -ésima ecorregión, definido anteriormente.

Obteniendo la varianza de la diferencia de existencias, la incertidumbre de  $\widehat{EB}_l$  se obtuvo de acuerdo con lo siguiente:

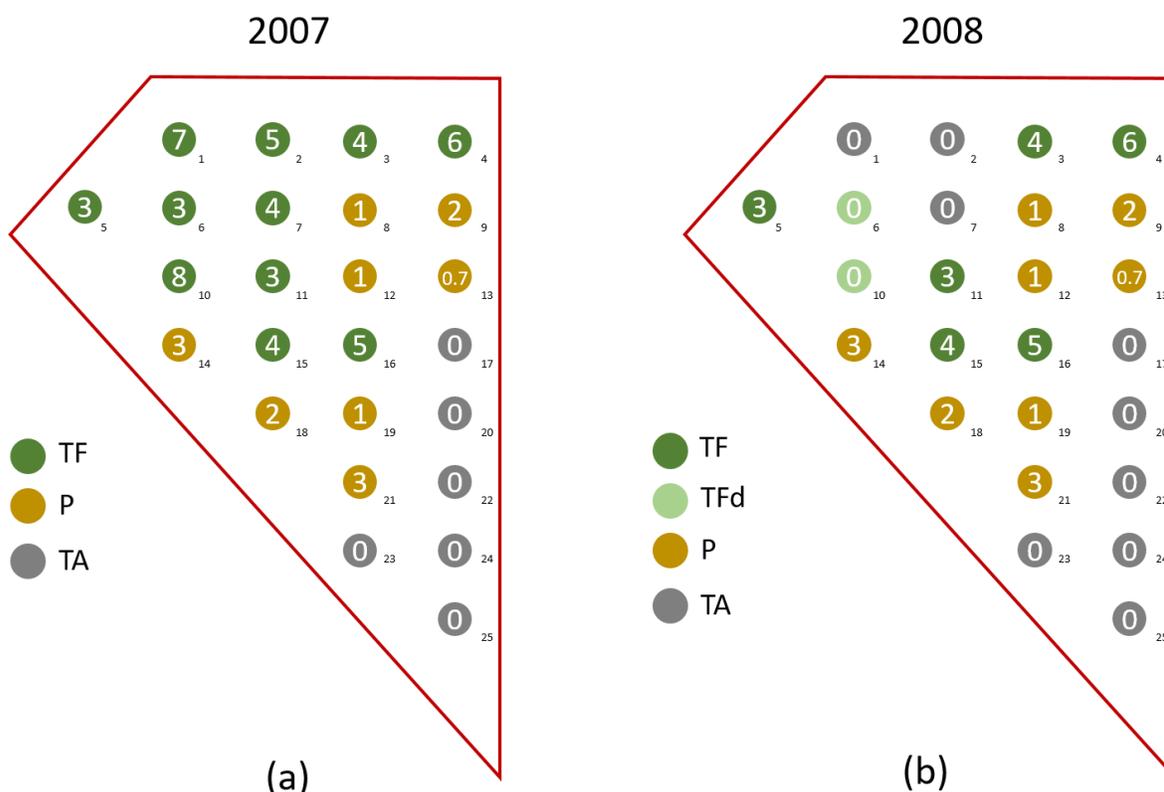
$$U(\widehat{EB}_l) = \frac{Z_{\alpha/2} * s(\widehat{EB}_l)}{\widehat{EB}_l} * 100$$

Donde:

$$s(\widehat{EB}_l) = \sqrt{Var(\widehat{EB}_l)}$$

Este proceso de estimación de las emisiones totales se ejemplifica a continuación:

- I. Supongamos que se desea conocer las emisiones totales de carbono para la BA que ocurrieron entre 2007 y 2008 en el área de la ecorregión 3 con intensidad de muestreo de 5x5 km (ver polígono de contorno rojo de la **Figura 69-a**).
- II. Del ejemplo de la sección anterior, sabemos que, en el año 2007, la existencia total de carbono de Tierras Forestales fue de 1300 t de C en la ecorregión 3, con intensidad de muestreo de 5x5 km (cuya área es de 1000 ha).
- III. Supongamos que, en 2008 en esta área de estudio, tres parcelas se deforestaron (Id 's 1, 2 y 7) y dos se degradaron (Id 's 6 y 10) como se muestra en la **Figura 69-b**.



**Figura 69.** (a) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas Categorías IPCC identificadas a nivel de parcela en 2007 y (b) Diagrama con la representación de los contenidos de carbono de la BA con sus respectivas Categorías IPCC identificadas a nivel de parcela en 2008.

IV. Con base en lo señalado en la sección anterior 9.2 y lo mostrado en el **Cuadro 66**, se estimó la existencia de carbono en 2008 de acuerdo con lo siguiente:

(i) obtención del contenido promedio de carbono de la clase forestal ( $ER_{TF,2008}$ ) en el área de interés empleando la columna K del **Cuadro 66**:

$$ER_{TF,2008} = \frac{0+0+4+6+3+0+0+0+0+0+3+0+0+0+4+5+0+0+0+0+0+0+0+0}{25 \times 0.16} = 6.25 \text{ t/ha}$$

(ii) Estimación de la existencia total de carbono para la clase “Tierra Forestal” en el área de estudio:

$$C_{TF,2008} = 1000 \text{ ha} \times 6.25 \text{ t/ha} = 6,250 \text{ t C}$$

**Cuadro 66.** Información de las parcelas representadas en la Figura 69-b

A	2007					2008			
	B	C	D	E	G	H	I	J	K
ID	Clase IPCC	Carbono de la BA (toneladas)	Área Muestreada (ha)	Carbono de la BA para la clase TF (toneladas)	Carbono de la BA para la clase de permanencia de TF (toneladas)	Clase IPCC	Carbono de la BA (toneladas)	Área Muestreada (ha)	Carbono de la BA para la clase TF (toneladas)
1	TF	7	0.16	7	NA	TA	0	0.16	0
2	TF	5	0.16	5	NA	TA	0	0.16	0
3	TF	4	0.16	4	4	TF	4	0.16	4
4	TF	6	0.16	6	6	TF	6	0.16	6
5	TF	3	0.16	3	3	TF	3	0.16	3
6	TF	3	0.16	3	3	TFd	0	0.16	0
7	TF	4	0.16	4	NA	TA	0	0.16	0
8	P	1	0.16	0	0	P	1	0.16	0
9	P	2	0.16	0	0	P	2	0.16	0
10	TF	8	0.16	8	8	TFd	0	0.16	0
11	TF	3	0.16	3	3	TF	3	0.16	3
12	P	1	0.16	0	0	P	1	0.16	0
13	P	0.7	0.16	0	0	P	0.7	0.16	0
14	P	3	0.16	0	0	P	3	0.16	0
15	TF	4	0.16	4	4	TF	4	0.16	4
16	TF	5	0.16	5	5	TF	5	0.16	5
17	TA	0	0.16	0	0	TA	0	0.16	0
18	P	2	0.16	0	0	P	2	0.16	0
19	P	1	0.16	0	0	P	1	0.16	0
20	TA	0	0.16	0	0	TA	0	0.16	0
21	P	3	0.16	0	0	P	3	0.16	0
22	TA	0	0.16	0	0	A	0	0.16	0
23	TA	0	0.16	0	0	A	0	0.16	0
24	TA	0	0.16	0	0	A	0	0.16	0
25	TA	0	0.16	0	0	A	0	0.16	0

V. Una vez conocida la existencia de carbono para la BA en 2007 y 2008, para el área de estudio, se obtuvo la emisión total de carbono de la BA como sigue:

$$Emision\ Total_{2008-2009} = 13,000 \text{ t} - 6,250 \text{ t} = 6,750 \text{ t C}$$

El procedimiento mostrado en el ejemplo anterior fue implementado a nivel nacional para obtener las emisiones totales entre años.

### 10.1.2. Estimación de emisiones por Degradación Forestal Absoluta y sus incertidumbres

De acuerdo con el enfoque empleado, las emisiones por DFA son un subconjunto de las emisiones totales que corresponde a la diferencia de las existencias en el subconjunto de parcelas que entre  $t_1$  y  $t_2$  permanecieron como Tierra Forestal. Por lo tanto, una vez estimado la existencia de carbono en  $t_2$ , se procedió a recalcular la existencia de carbono en  $t_1$  sobre el subconjunto de parcelas que permanecieron como tierra forestal entre  $t_1$  y  $t_2$ . Bajo esta consideración, la emisión por DFA correspondió a las variaciones en las existencias de carbono asociadas a una pérdida en los contenidos de carbono para aquellas parcelas que que presentaron DFA.

Las emisiones por DFA ( $\widehat{EDg}_i$ ) y sus incertidumbres ( $U(\widehat{EDg}_i)$ ) para el periodo 2007-2016 fueron obtenidas de manera análoga a lo descrito en la sección anterior. Las existencias anuales de carbono fueron obtenidas de acuerdo con la metodología indicada en la sección 9 pero con la particularidad de que en la estimación de la existencia de carbono del año  $k$  y el año  $k+1$  sólo se utilizaron el subconjunto de parcelas que permanecieron en la misma clase de Tierra Forestal entre el año  $k$  y en el año  $k+1$ . Esto se llevó a cabo bajo este enfoque con el objetivo de aislar los cambios en las existencias totales de carbono a nivel nacional debidos al cambio de uso de suelo.

Las incertidumbres de las existencias de carbono del año  $k$  y el año  $k+1$  de las parcelas que permanecieron en la misma clase de Tierra Forestal entre el año  $k$  y en el año  $k+1$ , se estimaron de acuerdo con lo descrito en la sección 9. Las incertidumbres de las emisiones por DFA se obtuvieron de acuerdo con lo descrito en la sección 10.1.1.

Este proceso de estimación de las emisiones por DFA se ejemplifica a continuación:

- I. Supongamos que deseamos conocer las emisiones por DFA entre 2007 y 2008 para el área de estudio definida en la **Figura 69**.
- II. Del ejemplo anterior sabemos que la existencia de carbono de las Tierras Forestales para la BA en 2008 fue de 6,250 ton, lo cual se estimó con base en la información de las parcelas 3, 4, 5, 6, 10, 11, 15 y 16 que en 2008 pertenecieron a la clase de "Tierra Forestal" (ver la **Figura 69-b**)
- III. Por lo tanto, se estimó la existencia de carbono en 2007 para el subconjunto de parcelas que entre 2007 y 2008 permanecieron como Tierra Forestal. Esto se realizó empleando la información de la columna G del **Cuadro 66** y se obtuvo de acuerdo con lo siguiente:

(i) obtención del contenido promedio de carbono de la clase forestal ( $ER_{TF',2007}$ ) en el área de interés:

$$ER_{TF'} = \frac{NA + NA + 4 + 6 + 3 + 3 + NA + 0 + 0 + 8 + 3 + 0 + 0 + 0 + 4 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0}{25 \times 0.16} = 9 \text{ t C/ha}$$

(ii) Estimación de la existencia total de carbono para la clase "Tierra Forestal" en el área de estudio:

$$C_{TF',2007} = 1000 \text{ ha} \times 9 \text{ t/ha} = 9,000 \text{ t}$$

- IV. Estimación de las emisiones por DFA para el periodo 2007-2008 de acuerdo con lo siguiente:

$$Emision \ Dg_{2007-2008} = 13,000 \text{ t} - 9,000 \text{ t} = 4,000 \text{ t C}$$

El procedimiento mostrado en el ejemplo anterior fue implementado a nivel nacional, para estimar la emisión por DFA..

### 10.1.3. Estimación de emisiones por Deforestación Bruta y sus incertidumbres

Las emisiones por deforestación bruta para el periodo I resultaron de la diferencia entre las emisiones totales ( $\widehat{EB}_t$ ) y las emisiones por DFA ( $\widehat{EDg}_t$ ) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\widehat{EDe}_t = \widehat{EB}_t - \widehat{EDg}_t$$

Las incertidumbres de las emisiones por deforestación bruta se obtuvieron propagando las incertidumbres por la resta siguiendo las recomendaciones del capítulo 3 de "Incertidumbres" del Volumen 1 de las Directrices del IPCC (2006).

$$U(\widehat{EDe}_t) = \frac{\sqrt{(\widehat{EB}_t \times U(\widehat{EB}_t))^2 + (\widehat{EDg}_t \times U(\widehat{EDg}_t))^2}}{|\widehat{EDe}_t|}$$

Siguiendo los ejemplos anteriores, la emisión por deforestación se obtuvo de acuerdo con lo siguiente:

$$Emision\ De_{2007-2008} = Emision\ Total_{2007-2008} - Emision\ Dg_{2007-2008}$$

$$Emision\ De_{2007-2008} = 6,750\ t\ C - 4,000\ t\ C = 2,750\ t\ C$$

La estimación de las emisiones por deforestación bruta se realizó sólo a nivel nacional con las estimaciones de las emisiones brutas totales y con las estimaciones de las emisiones por DFA a nivel nacional (incluyendo los cinco reservorios)..

## 10.2. Resultados

### 10.2.1. Emisiones brutas de las Tierras Forestales

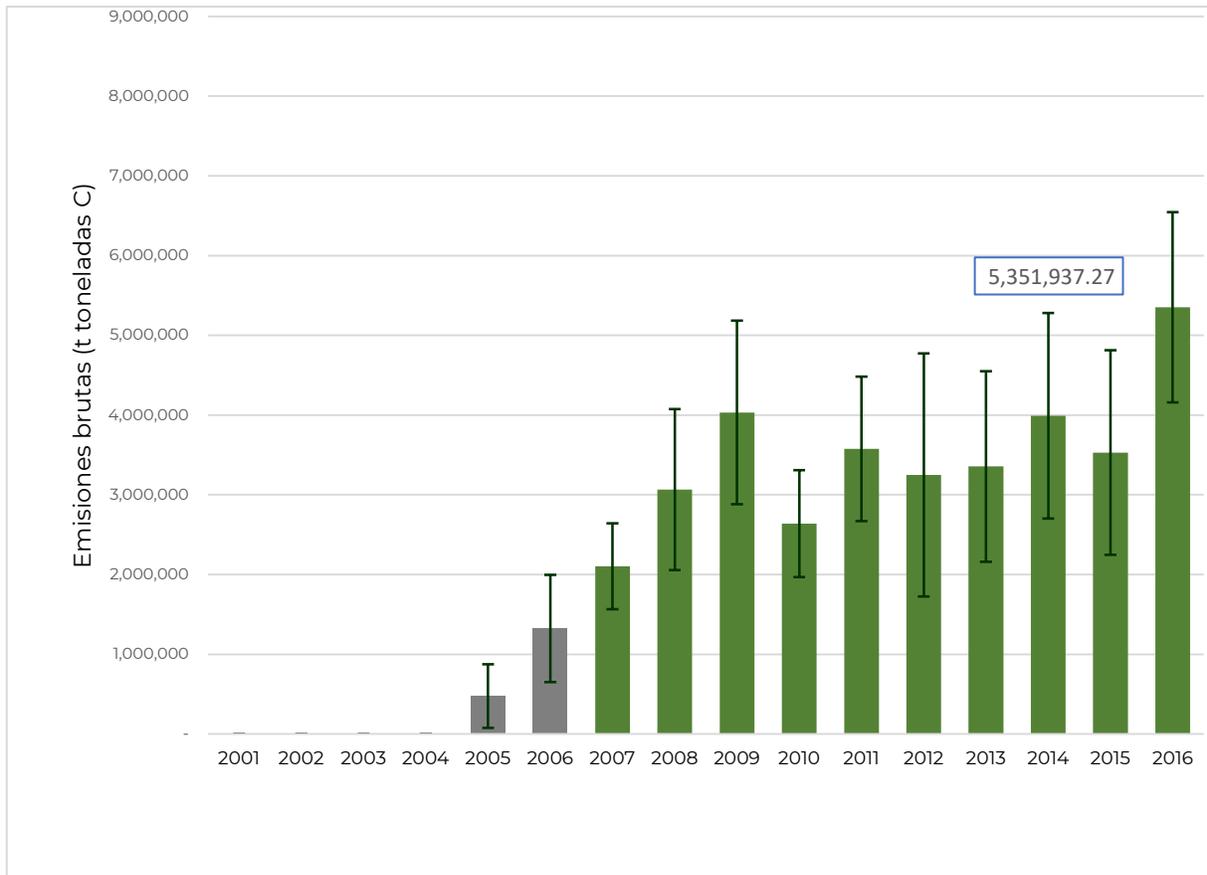
El **Cuadro 67** resume las existencias de carbono a nivel nacional de los cinco reservorios incluidos en el NREF. Para el caso de los reservorios de BA, BS, MM y M, los valores se refieren a las TF, mientras que, para el caso del COS, las existencias se refieren a las 6 Categorías IPCC como se describe en la sección 10.1.

Las emisiones brutas provenientes de las Tierras Forestales de México, para cada reservorio, se calcularon mediante la diferencia de existencias de carbono en cada depósito, comparando dos años consecutivos. Los resultados se muestran en el **Cuadro 68** y en las siguientes gráficas.

Las emisiones brutas de la biomasa aérea de las Tierras Forestales de México se muestran en **Figura 70**. Estas emisiones presentan una tendencia creciente con un valor máximo en 2016 que asciende a 5,351,937.27 t C.

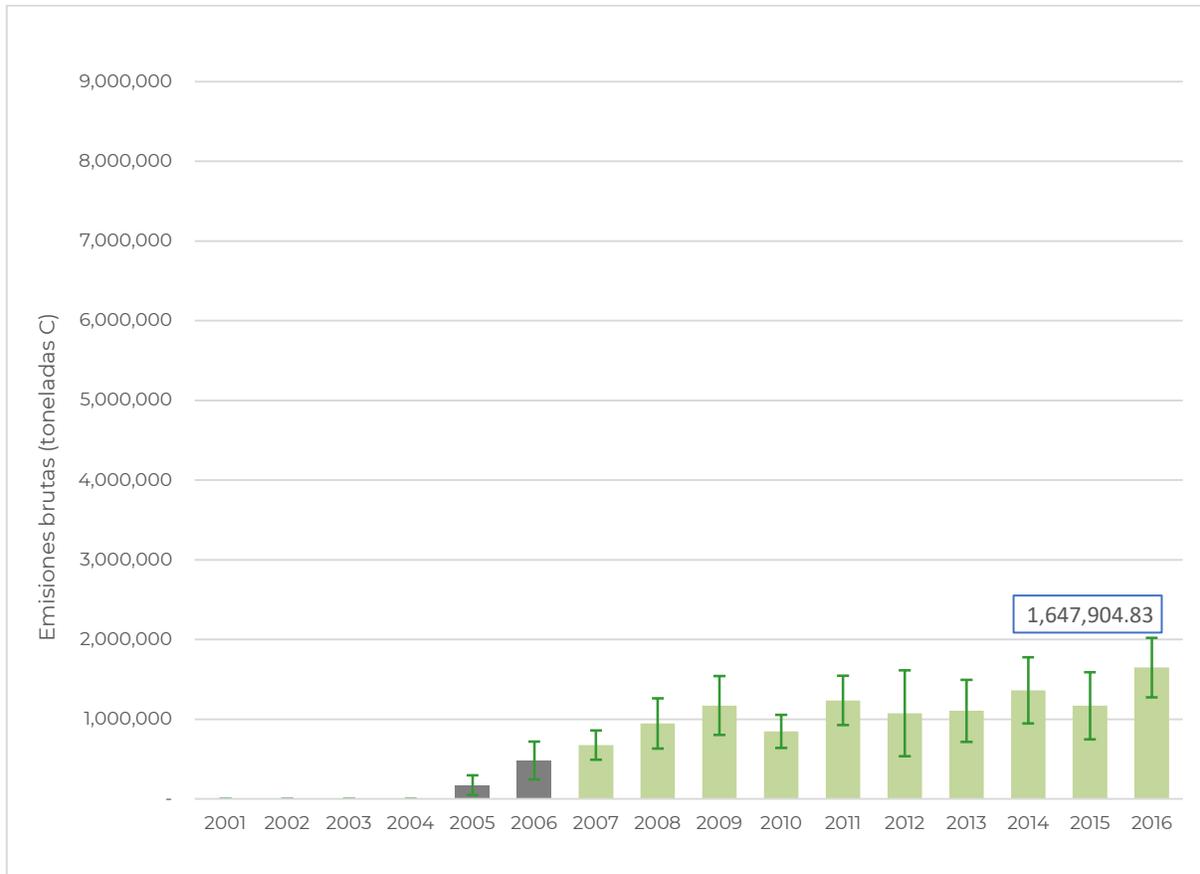
Es importante mencionar que para el periodo 2001-2004 los valores son nulos ya que, aunque existieron procesos de perturbaciones en ese periodo (deforestación y DFA), con el enfoque metodológico usado en este NREF no fue posible adjudicar un valor de contenido de carbono a las parcelas clasificadas como Tierras Forestales y que pasaron a Tierras No Forestales durante ese periodo (ver Anexo metodológico).

Como el 1er Ciclo del INFyS obtuvo una muestra suficiente hasta el año 2006, el enfoque de "Diferencia de Existencias" es insesgado a partir del año 2007 (restando las existencias de 2006) hasta 2016 (restando las existencias de 2015). Por esta razón, los valores de emisiones brutas de 2001 a 2006 se consideran no adecuados y por eso no fueron considerados en el nivel de referencia.



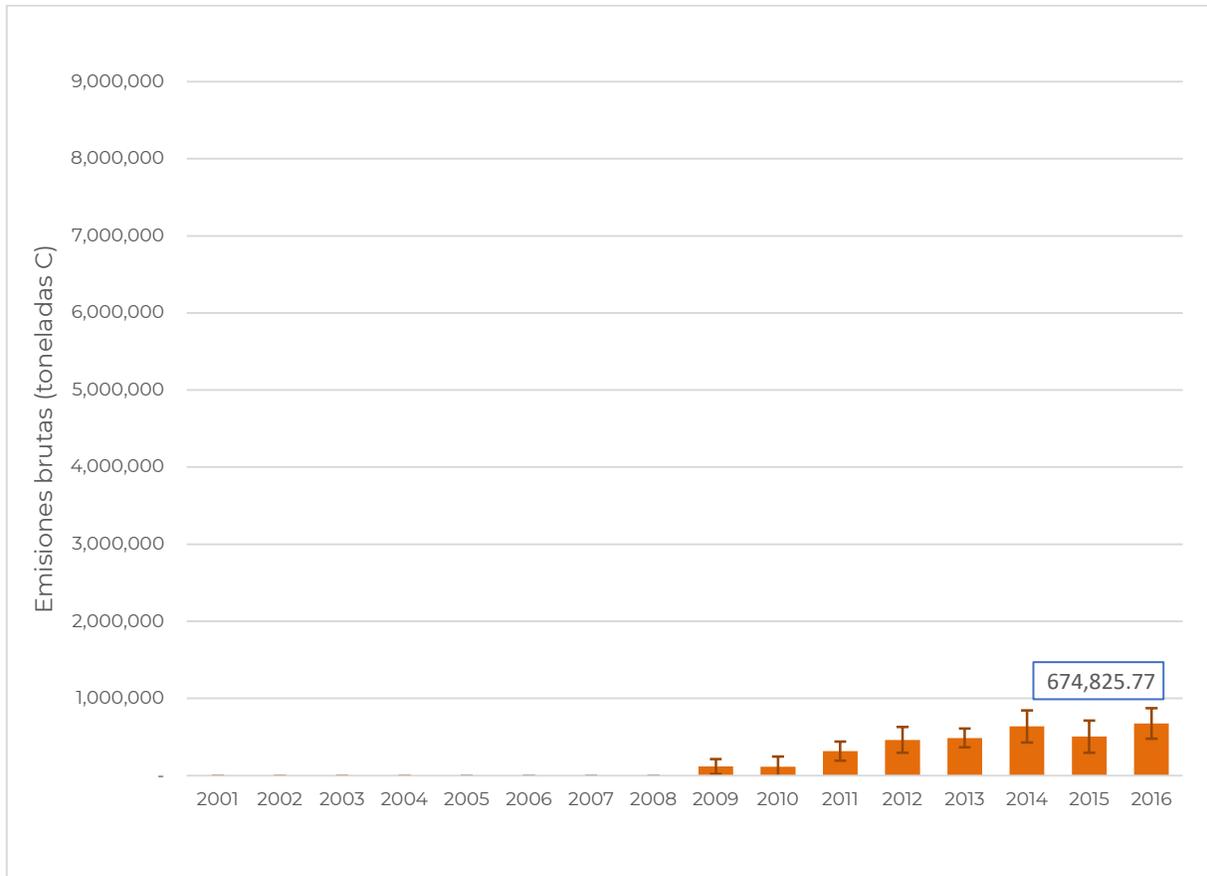
**Figura 70** Emisiones brutas de la biomasa aérea de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

En la **Figura 71** se muestran las emisiones brutas de la BS de las Tierras Forestales de México. Por la razón arriba explicada, las emisiones en el periodo 2001-2006 están sesgadas. La tendencia de las barras verdes, que corresponde a los valores adecuados de emisiones, es creciente, con un valor máximo en 2016 de 1,647,904.83 t C.



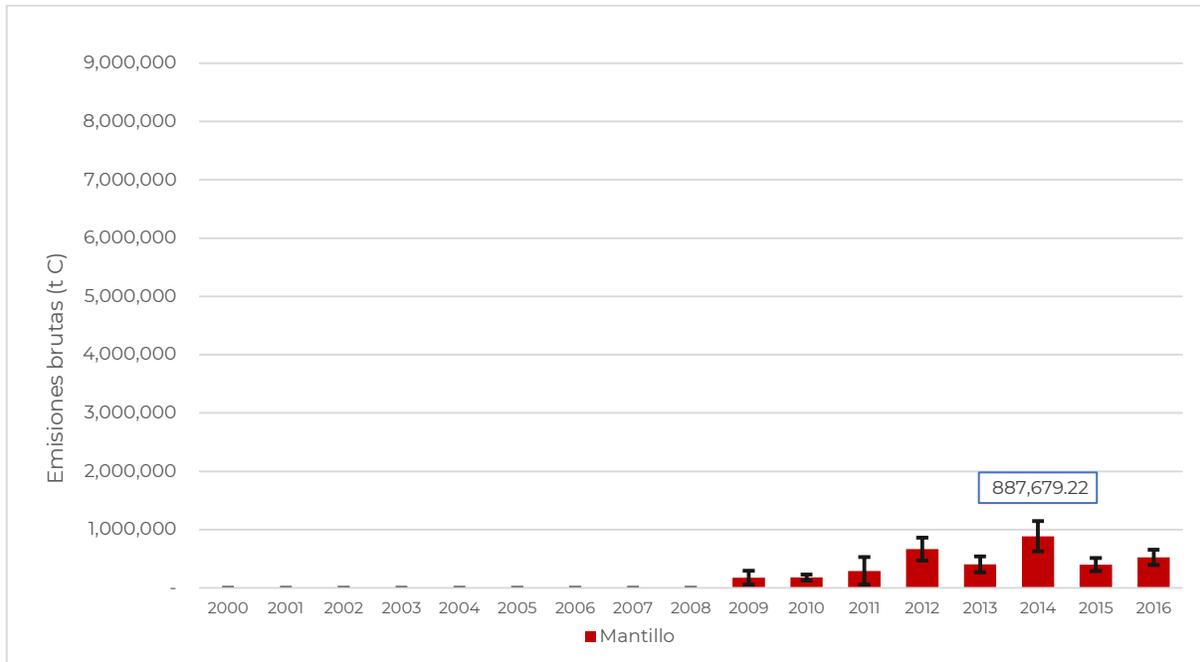
**Figura 71.** Emisiones brutas de la biomasa subterránea de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

Las emisiones brutas de la MM se presentan en la **Figura 72**. La tendencia de estas emisiones es más irregular y presenta variaciones en el periodo 2009-2016, con un valor máximo de 674,825.77 t C en 2016. A diferencia de los dos reservorios anteriores, sólo fue posible calcular las emisiones de la madera muerta a partir de 2009, ya que fue en el 2º ciclo del INFyS en que se inició la colecta de datos de las variables de este reservorio



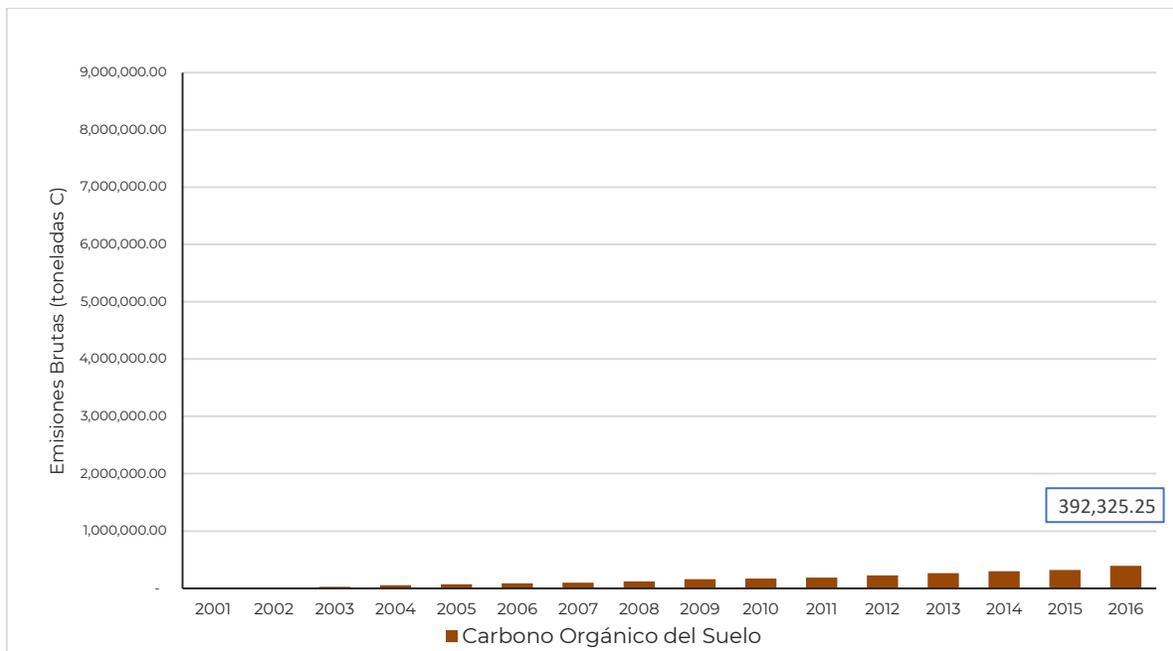
**Figura 72.** Emisiones brutas de la madera muerta de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

Las emisiones brutas de mantillo para el periodo 2001-2016 no muestran una tendencia clara **Figura 73.** Presenta un valor máximo de 887,679.22 t C en 2014.



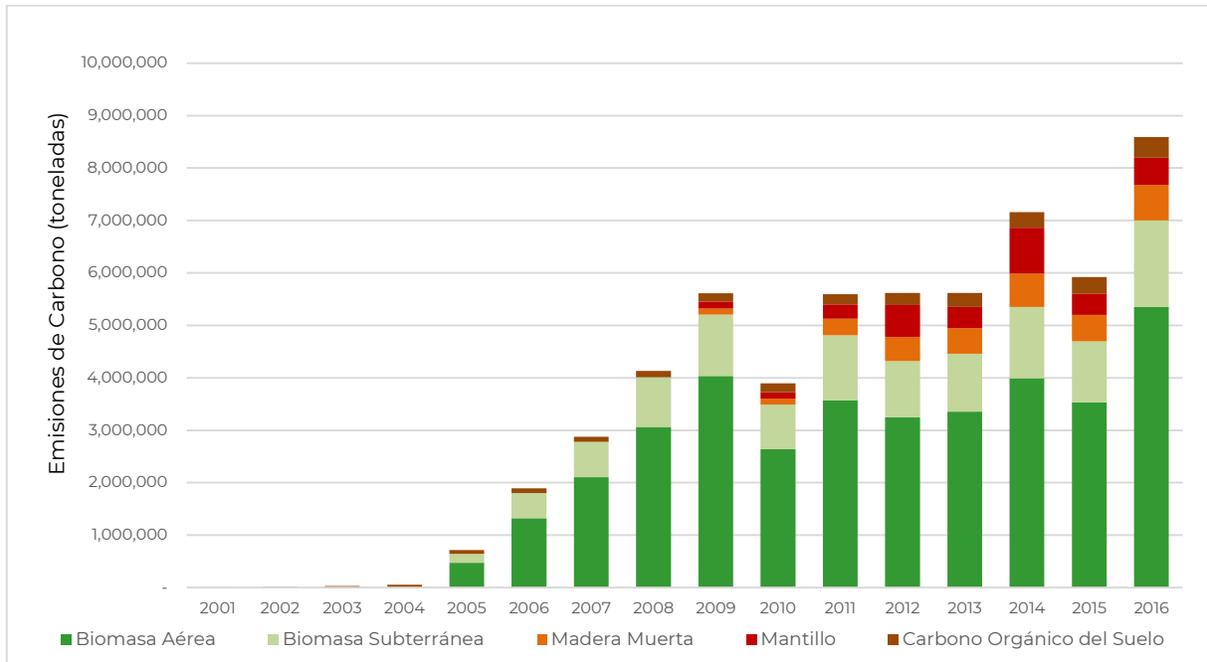
**Figura 73.** Emisiones brutas de mantillo de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

Para el caso de las emisiones brutas de COS, sí fue posible determinar las emisiones para el periodo 2001-2016, debido a que el insumo principal cuenta con una serie histórica completa. La tendencia de estas emisiones tiene un orden de magnitud menor al de los otros reservorios, pero también muestra una tendencia creciente, con un valor máximo de 392,325.25 t C en 2016 (**Figura 74**).



**Figura 74.** Emisiones brutas de COS de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

Las emisiones brutas totales de las Tierras Forestales de México se obtuvieron de la suma de las emisiones brutas por cada reservorio y se muestran en la **Figura 75**.



**Figura 75.** Emisiones brutas de carbono de las Tierras Forestales de México (2001-2016)

**Cuadro 67.** Existencias de Carbono a nivel nacional de los 5 reservorios incluidos en el NREF

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
BA	Existencias de C en TF (toneladas)	1,638,364,890	1,638,364,890	1,638,364,890	1,638,364,890	1,638,364,890	1,637,889,536	1,636,564,746	1,634,461,235	1,631,396,085
	Incertidumbres (%)	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53
BS	Existencias de C en TF (toneladas)	569,627,965	569,627,965	569,627,965	569,627,965	569,627,965	569,457,876	568,977,490	568,302,190	567,355,173
	Incertidumbres (%)	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49
MM	Existencias de C en TF (toneladas)	204,372,012	204,372,012	204,372,012	204,372,012	204,372,012	204,372,012	204,372,012	204,372,012	204,372,012
	Incertidumbres (%)	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99
Mantillo	Existencias de C en TF (toneladas)	170,481,811	170,481,811	170,481,811	170,481,811	170,481,811	170,481,811	170,481,811	170,481,811	170,481,811
	Incertidumbres (%)	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
Suelos	Existencias de COS en las 6 categorías IPCC (toneladas)	5,365,134,995	5,365,130,918	5,365,115,762	5,365,087,295	5,365,033,278	5,365,622,210	5,365,535,254	5,365,437,349	5,365,318,629
	Incertidumbres (%)	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.30	1.30	1.30

**Cuadro 67 (Continuación).** Existencias de Carbono a nivel nacional de los 5 reservorios incluidos en el NREF

		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BA	Existencias de C en TF (toneladas)	1,627,363,267	1,624,723,425	1,621,148,378	1,617,899,915	1,614,544,612	1,610,553,921	1,607,024,561	1,601,672,624
	Incertidumbres (%)	1.54	1.54	1.54	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56
BS	Existencias de C en TF (toneladas)	566,183,386	565,335,589	564,100,280	563,026,435	561,922,194	560,560,115	559,391,984	557,744,079
	Incertidumbres (%)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.51	1.51	1.52
MM	Existencias de C en TF (toneladas)	204,255,267	204,141,183	203,825,605	203,363,866	202,878,003	202,242,135	201,738,444	201,063,618
	Incertidumbres (%)	1.99	1.99	2.00	2.00	2.00	2.01	2.01	2.02
Mantillo	Existencias de C en TF (toneladas)	170,304,622	170,125,640	169,833,324	169,165,670	168,759,495	167,871,815	167,470,623	166,945,798
	Incertidumbres (%)	2.91	2.91	2.91	2.92	2.93	2.92	2.92	2.93
Suelos	Existencias de COS en las 6 categorías IPCC (toneladas)	5,365,160,007	5,364,987,136	5,364,797,073	5,364,569,545	5,364,303,857	5,364,005,701	5,363,683,842	5,363,291,517
	Incertidumbres (%)	1.30	1.30	1.30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31

**Cuadro 68.** Emisiones brutas provenientes de las Tierras Forestales de México por reservorio para el periodo 2000-2016 (toneladas C)

Reservorio	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
BA	-	-	-	-	-	475,354.30	1,324,789.36	2,103,511.78	3,065,149.41
Incertidumbre (%)	-	-	-	-	-	84	51	26	33
BS	-	-	-	-	-	170,088.67	480,386.56	675,300.10	947,017.13
Incertidumbre (%)	-	-	-	-	-	73	49	27	33
MM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Incertidumbre (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mantillo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Incertidumbre (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COS	-	4,077.18	15,155.65	28,466.95	54,017.18	72,883.09	86,955.59	97,905.86	118,719.61
Incertidumbre (%)	-	63,063	23,196	13,440	7,863	4,587	4,520	4,022	3,567
<b>Total</b>	-	<b>4,077.18</b>	<b>15,155.65</b>	<b>28,466.95</b>	<b>54,017.18</b>	<b>718,326.07</b>	<b>1,892,131.51</b>	<b>2,876,717.73</b>	<b>4,130,886.14</b>
<b>Incertidumbre (%)</b>	-					<b>65</b>	<b>40</b>	<b>21</b>	<b>26</b>

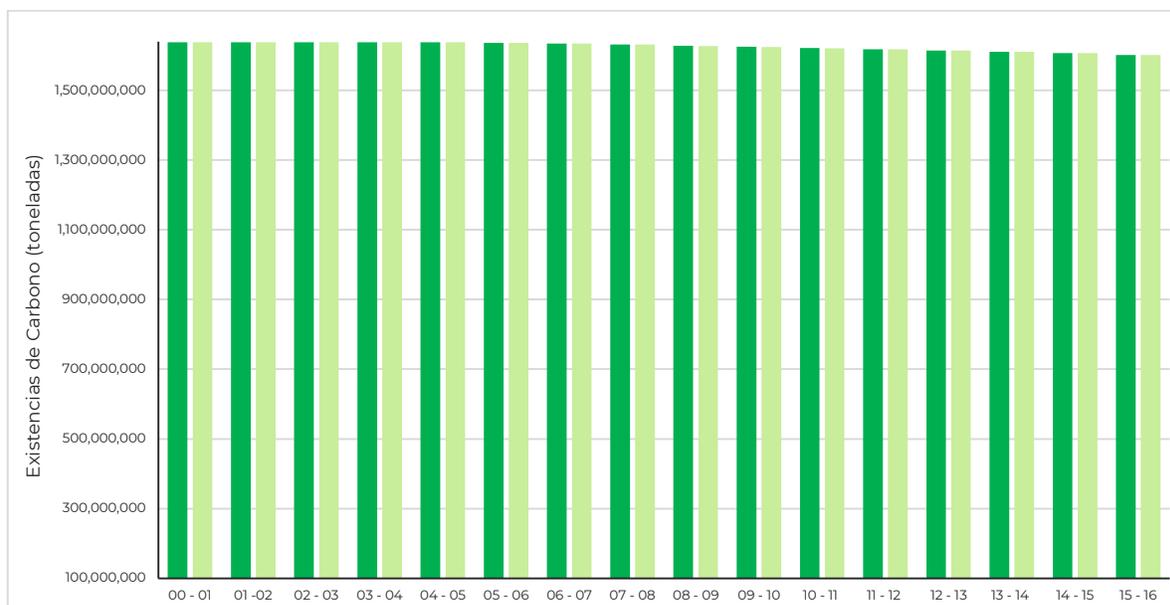
**Cuadro 68 (continuación).** Emisiones brutas provenientes de las Tierras Forestales de México por reservorio para el periodo 2000-2016 (toneladasC)

Reservorio	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
BA	4,032,818.34	2,639,841.36	3,575,047.97	3,248,462.66	3,355,302.61	3,990,691.50	3,529,360.05	5,351,937.27
Incertidumbre (%)	29	25	25	47	36	32	36	22
BS	1,171,786.23	847,797.16	1,235,309.42	1,073,844.95	1,104,241.14	1,362,078.78	1,168,131.17	1,647,904.83
Incertidumbre (%)	32	25	25	50	35	30	36	23
MM	116,745.18	114,083.98	315,578.06	461,738.56	485,863.47	635,867.59	503,691.68	674,825.77
Incertidumbre (%)	83	115	39	36	25	33	42	30
Mantillo	177,188.92	178,982.46	292,315.75	667,654.53	406,175.05	887,679.22	401,192.02	524,824.88
Incertidumbre (%)	67	29	81	29	34	29	28	25
COS	158,621.89	172,870.90	190,062.72	227,528.39	265,688.00	298,155.73	321,859.50	392,325.25
Incertidumbre (%)	3,383	2,100	2,658	2,378	1,903	1,893	1,623	1,304
<b>Total</b>	<b>5,657,160.55</b>	<b>3,953,575.85</b>	<b>5,608,313.91</b>	<b>5,679,229.09</b>	<b>5,617,270.26</b>	<b>7,174,472.82</b>	<b>5,924,234.42</b>	<b>8,591,818.00</b>
<b>Incertidumbre (%)</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>34</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>17</b>

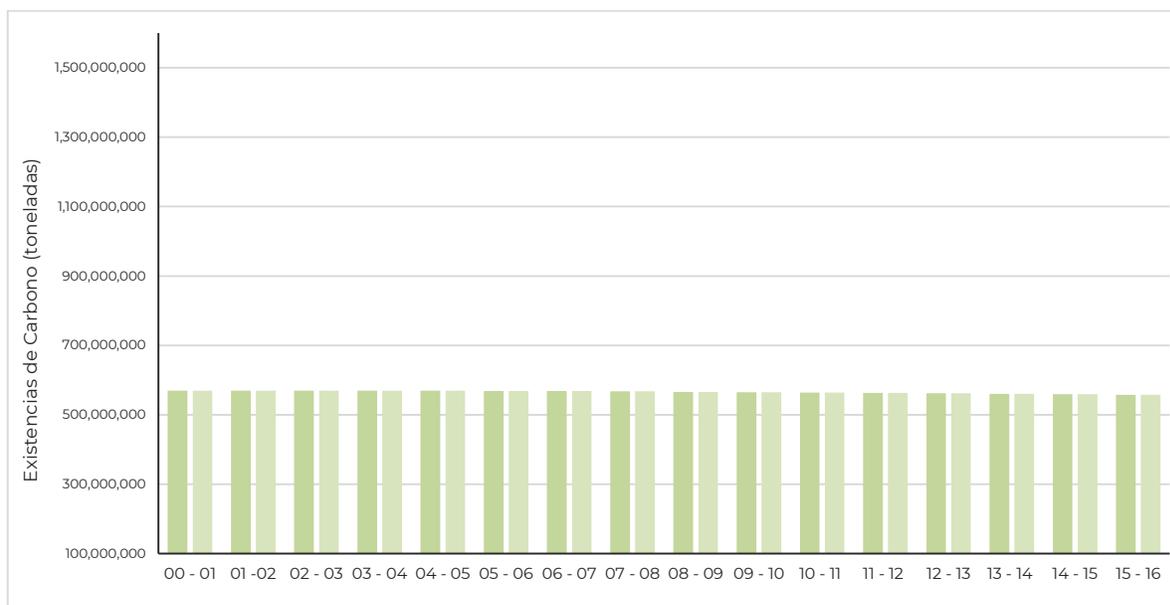
Para desagregar las emisiones brutas de las Tierras Forestales de México, en emisiones por deforestación bruta y emisiones por DFA, primero se calcularon las emisiones por degradación forestal absoluta.

### 10.2.2. Emisiones por degradación forestal absoluta

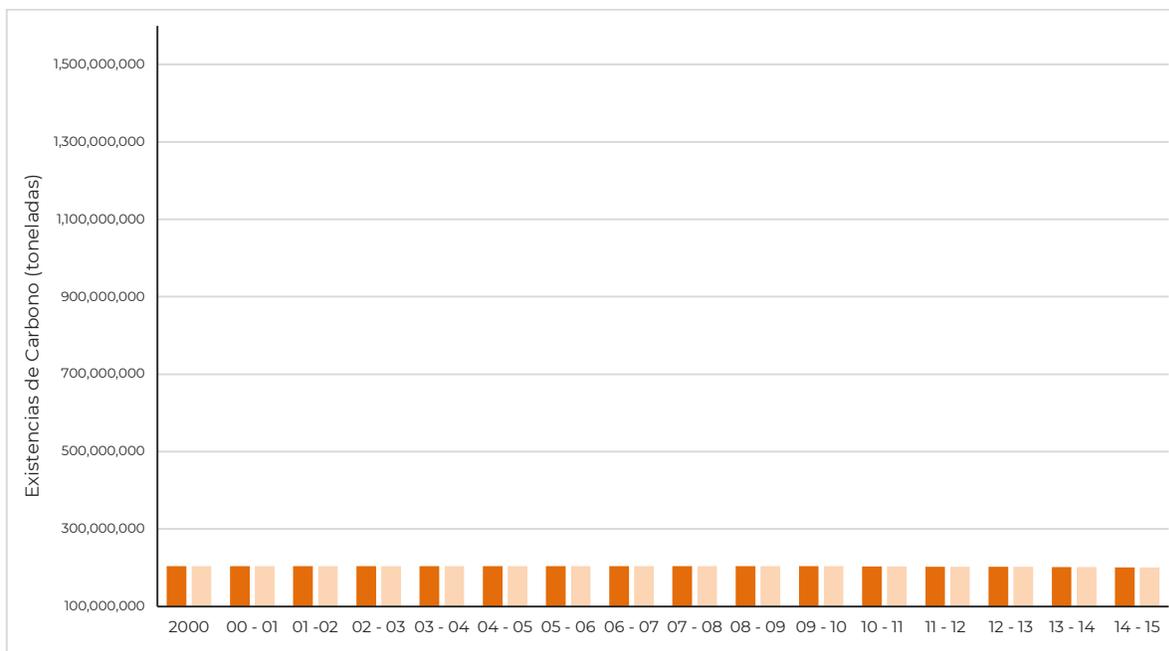
De la **Figura 76** a la **Figura 80** se muestran las existencias de Carbono en las Tierras Forestales que permanecieron como Tierras Forestales entre el tiempo 1 y el tiempo 2, por cada uno de los cinco reservorios. Una disminución en las existencias de carbono entre el  $t_1$  y  $t_2$  implica una DFA.



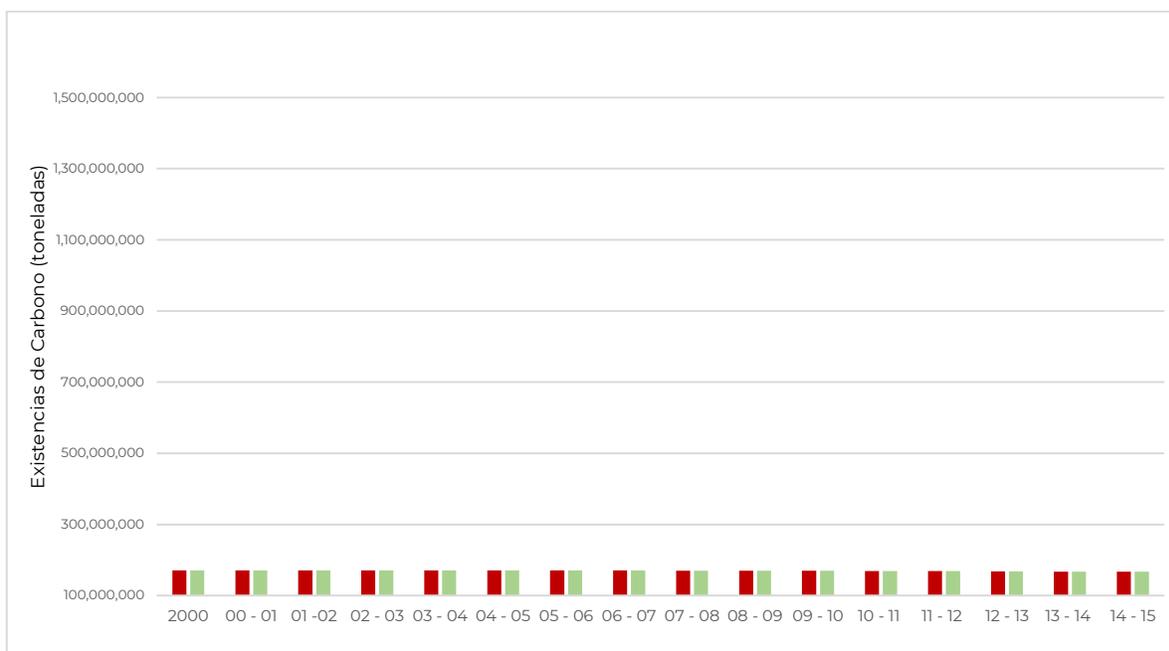
**Figura 76.** Existencias de carbono en biomasa aérea en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016



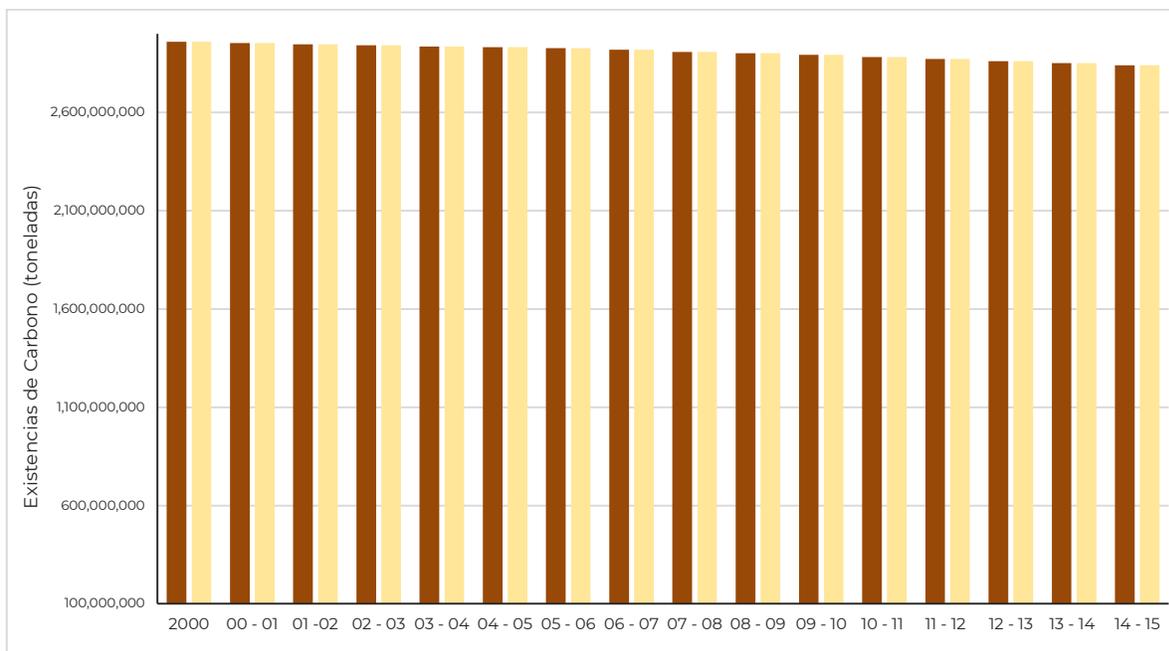
**Figura 77.** Existencias de carbono en biomasa subterránea en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016



**Figura 78.** Existencias de carbono en madera muerta en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016

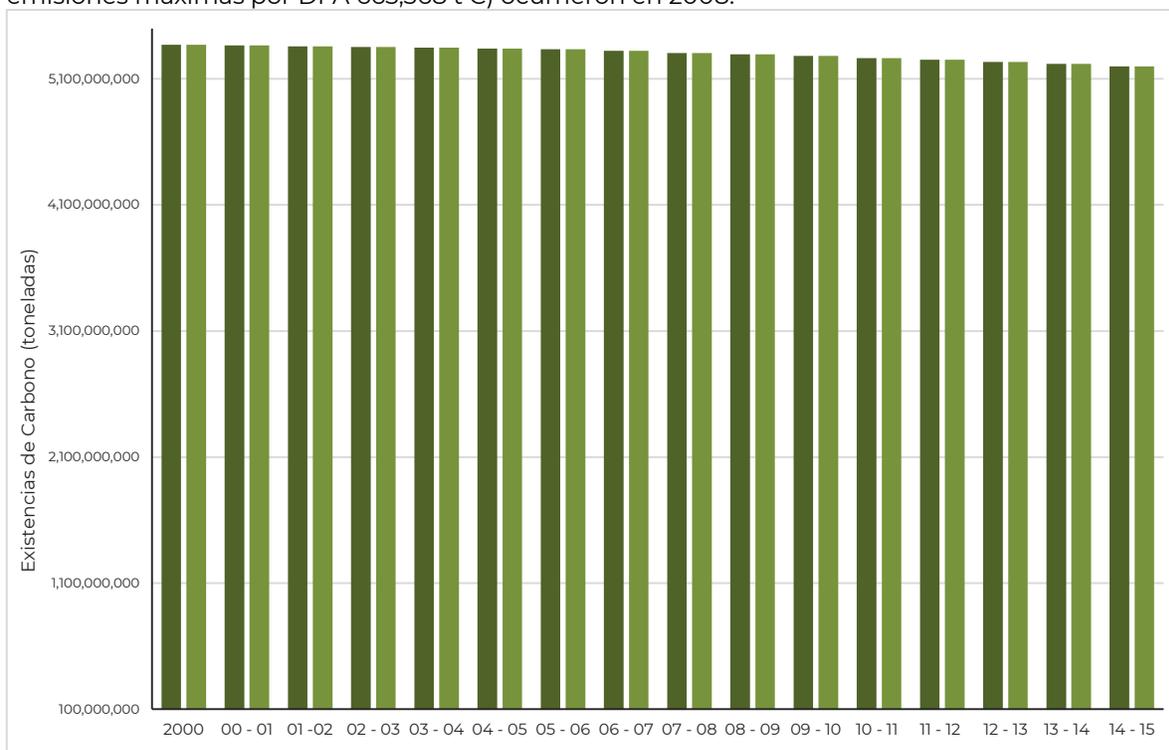


**Figura 79.** Existencias de carbono en mantillo en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016



**Figura 80.** Existencias de carbono orgánico en el suelo en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016

La **Figura 81** muestra las existencias totales de carbono (de los 5 reservorios sumados) en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 – 2016. Las emisiones de carbono por reservorio se muestran en la **Figura 82**. Con la diferencia de estas existencias se generaron las emisiones de carbono correspondientes a la DFA (**Figura 83**). Las emisiones máximas por DFA 663,368 t C) ocurrieron en 2008.



**Figura 81.** Existencias de Carbono total en permanencias de Tierras Forestales (entre dos años consecutivos) del periodo 2000 - 2016

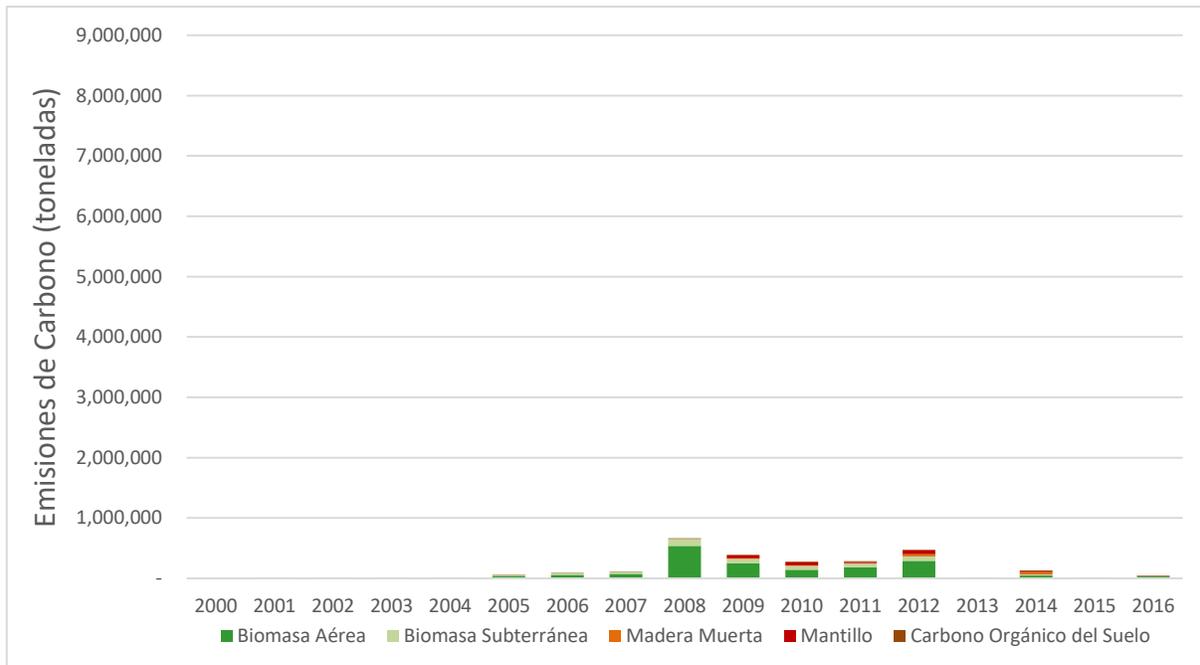


Figura 82. Emisiones totales de carbono por tipo de reservorio por degradación forestal absoluta en el periodo 2001-2016.

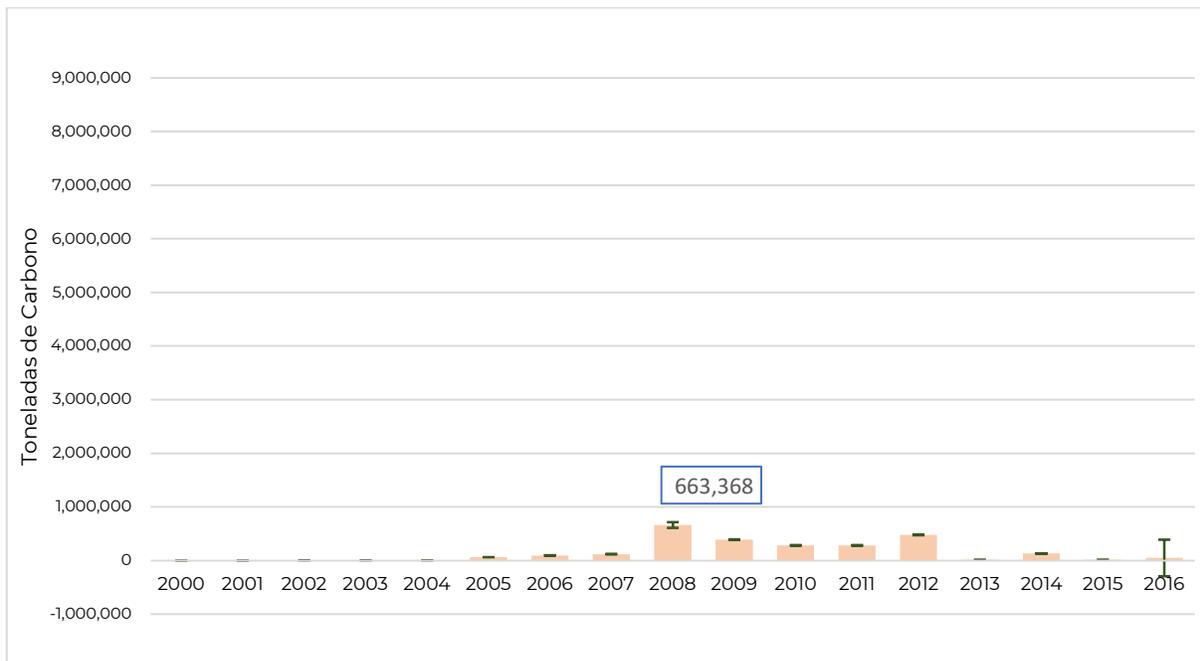


Figura 83. Emisiones totales de carbono por degradación forestal absoluta en el periodo 2001-2016

### 10.2.3. Emisiones por deforestación bruta

Finalmente, para estimar las emisiones de carbono provenientes de la deforestación bruta, las emisiones totales por DFA fueron sustraídas de las emisiones totales de las Tierras Forestales (Cuadro 69). Cuadro 69. Emisiones brutas de Tierras Forestales, de degradación forestal absoluta y de deforestación bruta en el periodo 2001-2016.

Año	Emisiones brutas de TF (toneladas C)						Emisiones por degradación forestal absoluta (toneladas C)						Emisiones por deforestación bruta (toneladas C)
	BA	BS	MM	COS	Mant	Total	BA	BS	MM	COS	Mant	Total	
2001	-	-	-	4,077	-	4,077	-	-	-	643	-	643	3,435
2002	-	-	-	15,156	-	15,156	-	-	-	1,625	-	1,625	13,531
2003	-	-	-	28,467	-	28,467	-	-	-	2,188	-	2,188	26,279
2004	-	-	-	54,017	-	54,017	-	-	-	3,885	-	3,885	50,132
2005	475,354	170,089	-	72,883	-	718,326	44,675	12,872	-	4,526	-	62,074	656,252
2006	1,324,789	480,387	-	86,956	-	1,892,132	57,850	32,181	-	5,023	-	95,054	1,797,077
2007	2,103,512	675,300	-	97,906	-	2,876,718	74,352	37,544	-	5,356	-	117,253	2,759,465
2008	3,065,149	947,017	-	118,720	-	4,130,886	538,912	115,646	-	8,810	-	663,368	3,467,518
2009	4,032,818	1,171,786	116,745	158,622	177,189	5,657,161	247,296	77,113	7,766	9,983	46,522	388,680	5,268,481
2010	2,639,841	847,797	114,084	172,871	178,982	3,953,576	143,534	59,944	11,554	10,864	56,083	281,979	3,671,596
2011	3,575,048	1,235,309	315,578	190,063	292,316	5,608,314	182,288	61,450	10,718	11,718	16,648	282,822	5,325,492
2012	3,248,463	1,073,845	461,739	227,528	667,655	5,679,229	291,367	70,641	38,521	12,797	62,948	476,275	5,202,954
2013	3,355,303	1,104,241	485,863	265,688	406,175	5,617,270	-	-	-	12,797	-	12,797	5,604,473
2014	3,990,691	1,362,079	635,868	298,156	887,679	7,174,473	45,649	18,359	40,213	13,123	14,246	131,590	7,042,883
2015	3,529,360	1,168,131	503,692	321,859	401,192	5,924,234	-	-	-	13,123	-	13,123	5,911,111
2016	5,351,937	1,647,905	674,826	392,325	524,825	8,591,818	29,898	5,980	-	13,123	-	49,001	8,542,817

BA = Biomasa aérea

BS = Biomasa subterránea

MM = Madera muerta

COS = Carbono orgánico en el Suelo

Mant = Mantillo

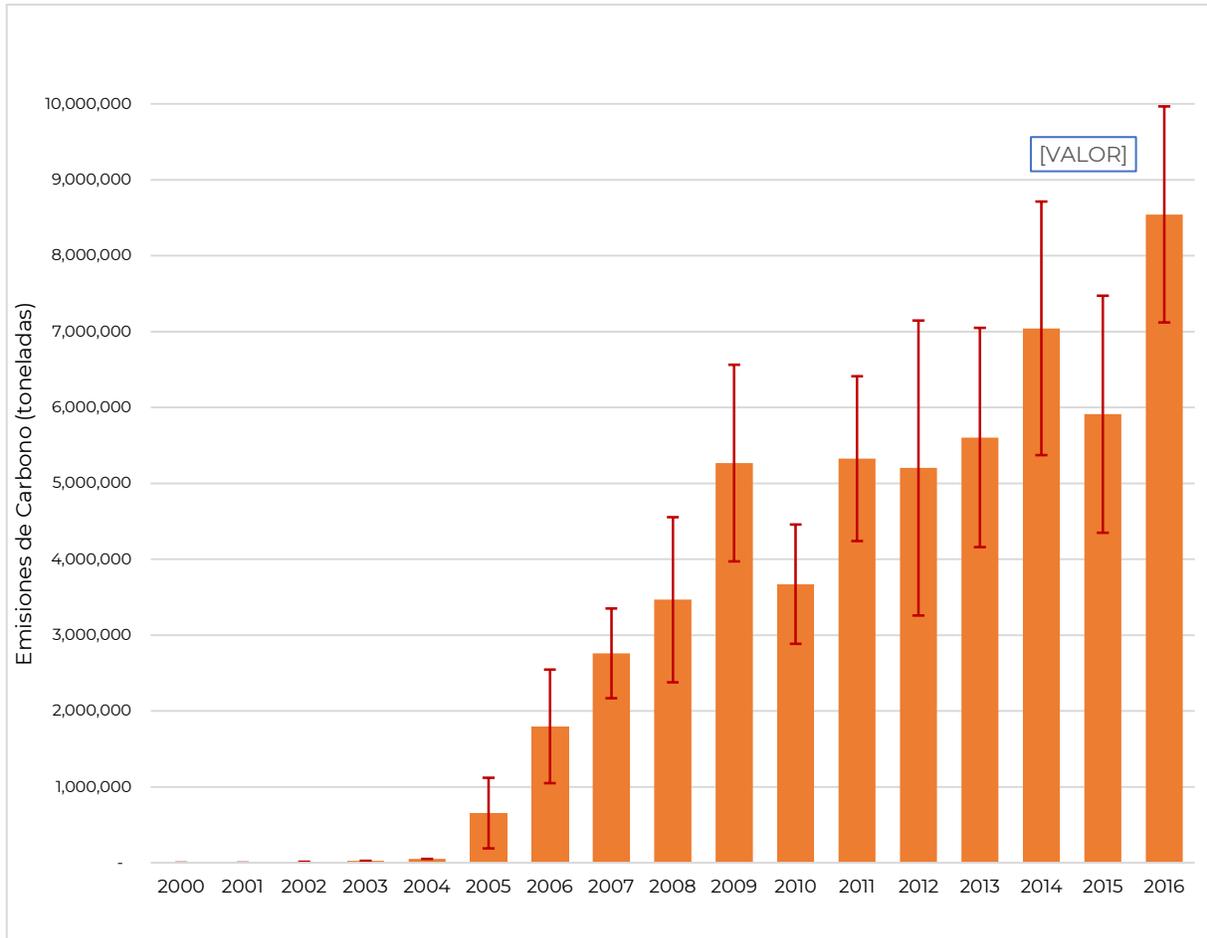
En la **Figura 84** se presentan las emisiones de Carbono por deforestación bruta en el periodo 2001-2016. Por la falta de disponibilidad de datos en el periodo 2001-2006, las emisiones en este rango no son representativas, como se ha explicado arriba.

Existe una tendencia creciente en las emisiones de carbono debidas a la deforestación bruta en el periodo 2006 a 2016. Esta tendencia es consistente con el comportamiento en el incremento de la superficie anual de deforestación bruta en el mismo periodo (**Figura 24**). Los valores máximos de emisiones se presentaron en los años 2016 (8,542,817 t C) y 2014 (7,042,883 t C); años en que también se presentaron los valores más altos de superficie con deforestación bruta.

Se identifican incrementos importantes en los años 2009. Consistentemente dichos saltos reflejan el comportamiento del incremento en el número de las parcelas etiquetadas como deforestadas en los mismos años, en particular un incremento en la ecorregión de Selvas Cálido-Húmedas (**Cuadro 24**).

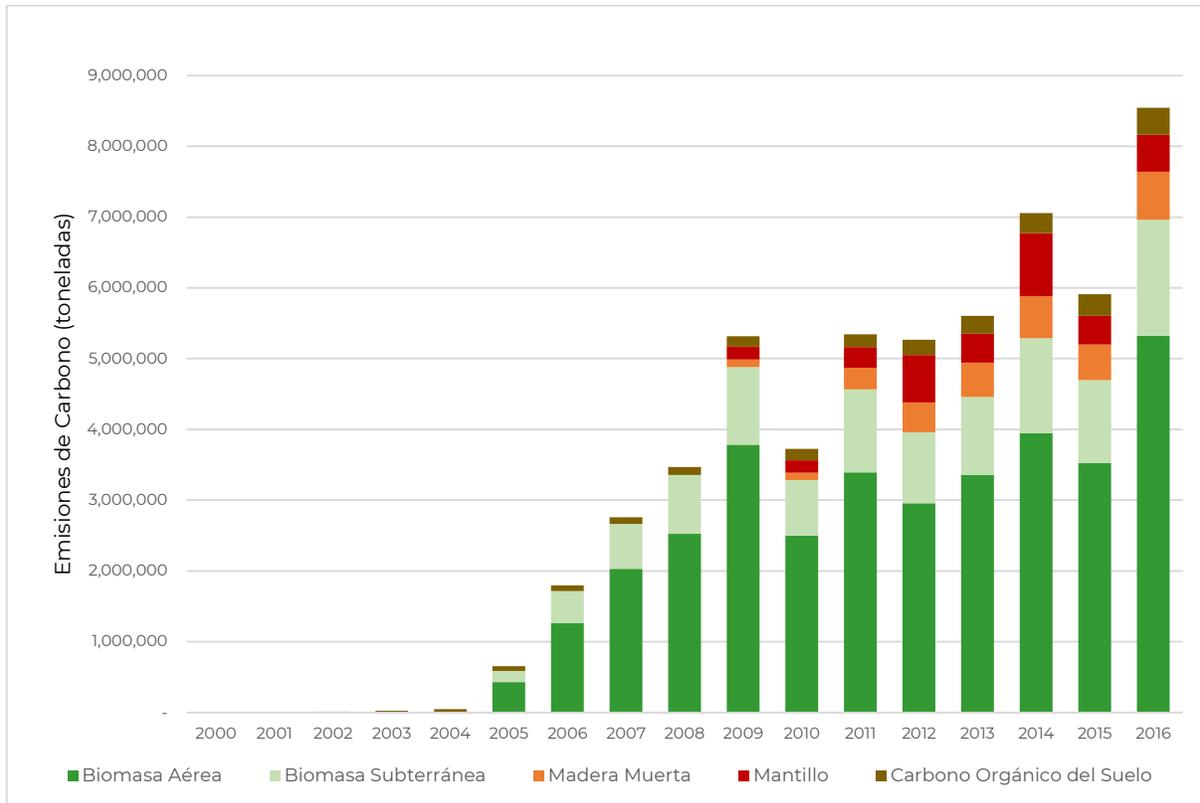
El incremento de las emisiones en los últimos años podría ser explicado por el incremento histórico en los subsidios al sector agropecuario, específicamente por el periodo de máxima asignación de subsidios del Programa de Producción pecuaria sustentable y ordenamiento ganadero y apícola (PROGAN) de la SAGARPA. El programa PROGAN tiene un amplio componente de ganadería extensiva y su periodo de máxima asignación ocurrió de 2014 a 2016.

El estudio "Análisis y modelación de los determinantes de la deforestación en México" que está desarrollando la CONAFOR en conjunto con el Programa SilvaCarbon, permitirá contar en el mediano plazo con información más objetiva para explicar los saltos significativos de la deforestación bruta.



**Figura 84.** Emisiones de Carbono por deforestación bruta en el periodo 2000-2016

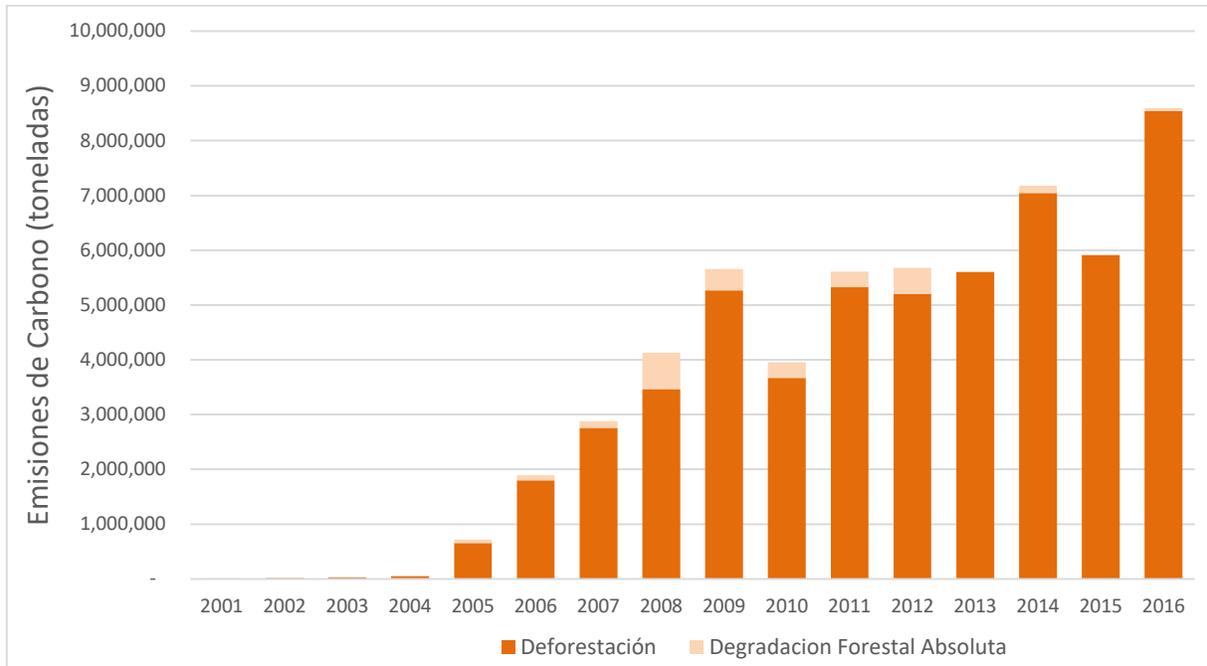
En la **Figura 85** se presentan las emisiones de Carbono por deforestación bruta por cada reservorio. La mayor aportación de emisiones es por biomasa aérea, seguido de biomasa subterránea. Se puede observar también que las cantidades de carbono emitidas por cada reservorio son de similar magnitud y consistentes en todo el periodo de análisis.



**Figura 85.** Emisiones de Carbono por Deforestación bruta por reservorio en el periodo 2001-2016

#### 10.2.4. Emisiones de Carbono por deforestación bruta y degradación forestal absoluta

Como se describió en los dos capítulos anteriores las emisiones totales (brutas) corresponden a la suma de las emisiones por deforestación bruta y DFA. El total de emisiones para el año con mayor cantidad correspondieron a 8,591,818 toneladas de carbono, que sucedieron en el año 2016. Dichas emisiones fueron de 8,542,817 t de C por deforestación bruta y 49,001 por DFA. El año con mayor cantidad de emisiones por DFA fue el 2008 ( **Figura 86**) pero esta cifra representó 16% de las emisiones totales.



**Figura 86.** Emisiones de Carbono por deforestación bruta y degradación forestal absoluta (periodo 2000-2016)

## 11. NIVEL DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES

### 11.1. Ajuste por circunstancias nacionales

El presente NREF está basado únicamente en datos históricos y no se aplicó ningún ajuste por circunstancias nacionales acerca de cambios futuros en las políticas nacionales.

### 11.2. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales 2007-2016

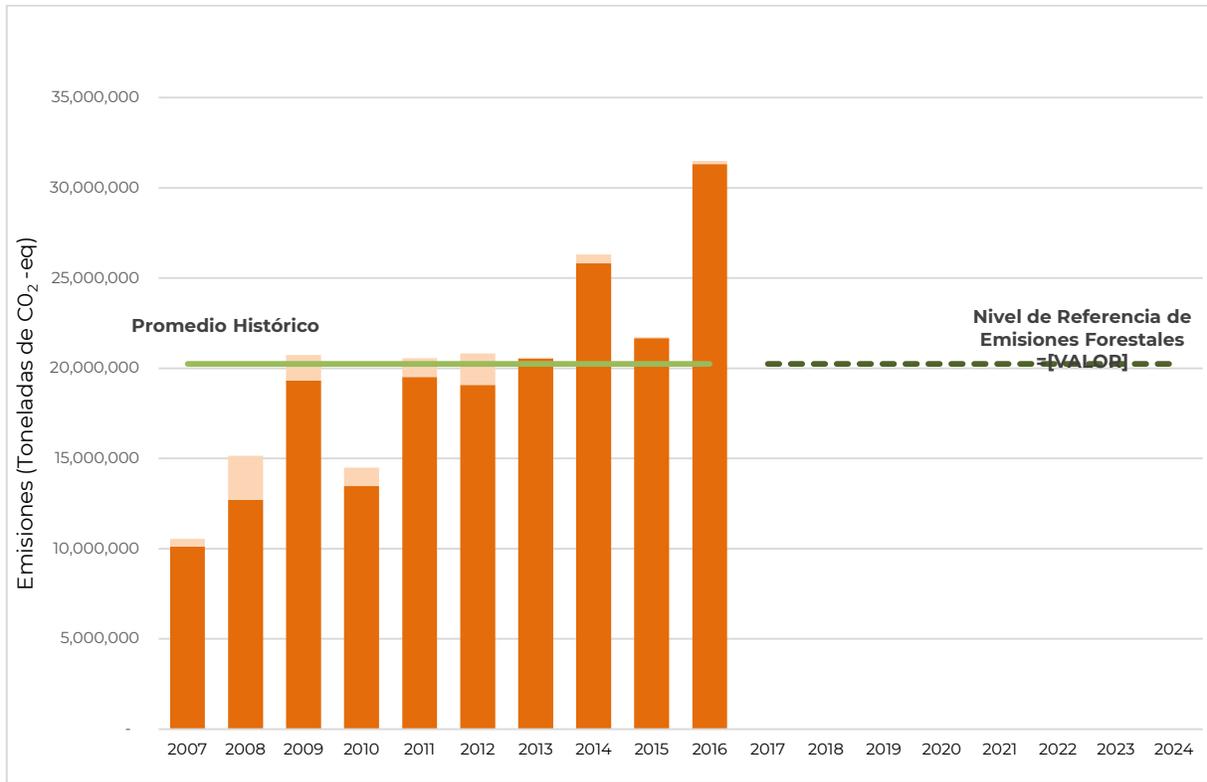
Tomando como base los resultados mostrados en la sección anterior, en el **Cuadro 70** se muestran las emisiones anuales (para el periodo 2007-2016) de CO<sub>2</sub>-eq derivadas de la DFA, la deforestación y la suma de ambas. El NREF de México consiste en un promedio histórico de estas emisiones en dicho periodo. En el **Cuadro 70** también se incluyen las incertidumbres asociadas a las estimaciones de emisiones, y se encuentran el archivo [NREF\\_2007-2016](#).

**Cuadro 70.** Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016)

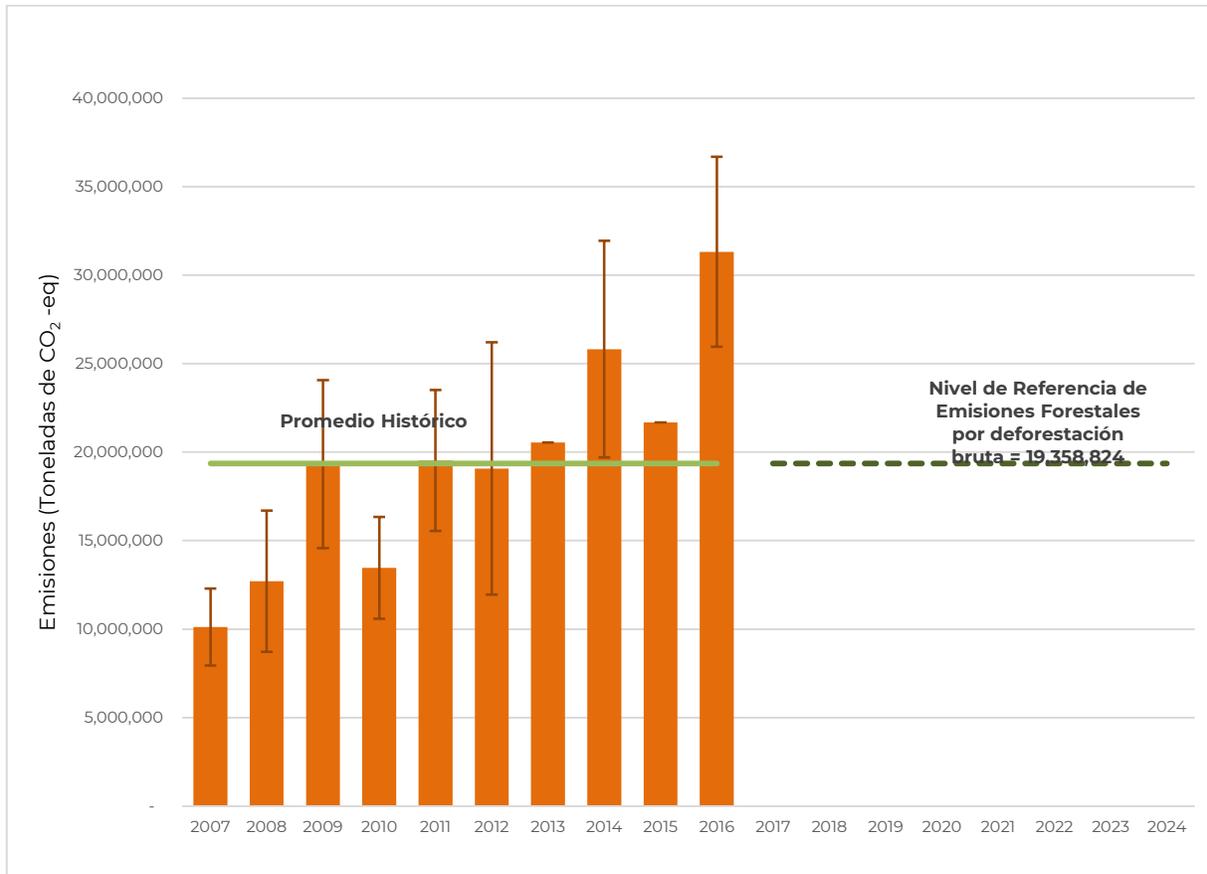
Año	Emisiones por Degradación Forestal Absoluta (toneladas CO <sub>2</sub> -eq/año)	Emisiones por Deforestación bruta (toneladas CO <sub>2</sub> -eq/año)	Emisión por deforestación bruta y degradación forestal absoluta (toneladas CO <sub>2</sub> -eq/año)	Incertidumbre* (%)
2007	429,927	10,118,038	10,547,965	21
2008	2,432,348	12,714,234	15,146,583	26
2009	1,425,158	19,317,764	20,742,922	23
2010	1,033,924	13,462,520	14,496,445	20
2011	1,037,013	19,526,805	20,563,818	19
2012	1,746,341	19,077,499	20,823,840	34
2013	46,923	20,549,734	20,596,658	26
2014	482,497	25,823,904	26,306,400	23
2015	48,119	21,674,073	21,722,193	26
2016	179,670	31,323,663	31,503,333	17
<b>Promedio 2007 - 2016</b>	<b>886,192</b>	<b>19,358,824</b>	<b>20,245,016</b>	<b>7.7</b>

\* La incertidumbre se estimó a partir de la propagación de incertidumbres de los reservorios de biomasa (BA+BS, madera muerta y mantillo).

El NREF de México por deforestación bruta y degradación forestal absoluta (ambas actividades definidas en el capítulo 5) asciende a 20,245,016 t CO<sub>2</sub>-eq/año con una incertidumbre del 7.7% (**Figura 87**). Esta importante diferencia entre las emisiones del NREF-2015 (44.388 Mt CO<sub>2</sub>-eq) y las emisiones del presente NREF se atribuye principalmente a los DA sesgados utilizados para el NREF 2015. Es importante mencionar que ni la incorporación de nuevos reservorios (materia muerta, mantillo y COS) ni la inclusión de las emisiones por DFA en el presente NREF pueden compensar la considerable diferencia entre las emisiones del NREF 2015 y el NREF 2020 debidas a las diferencias en las magnitudes de los DA correspondientes. Como se menciona en la sección 8.2, los DA del NREF 2015 difieren considerablemente de los datos de deforestación bruta del presente NREF 2020 debido principalmente a los importantes sesgos generados con la simple sobreposición de mapas (sin análisis de incertidumbre) en el NREF 2015.



**Figura 87.** Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por deforestación bruta y degradación forestal absoluta



**Figura 88.** Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por deforestación bruta

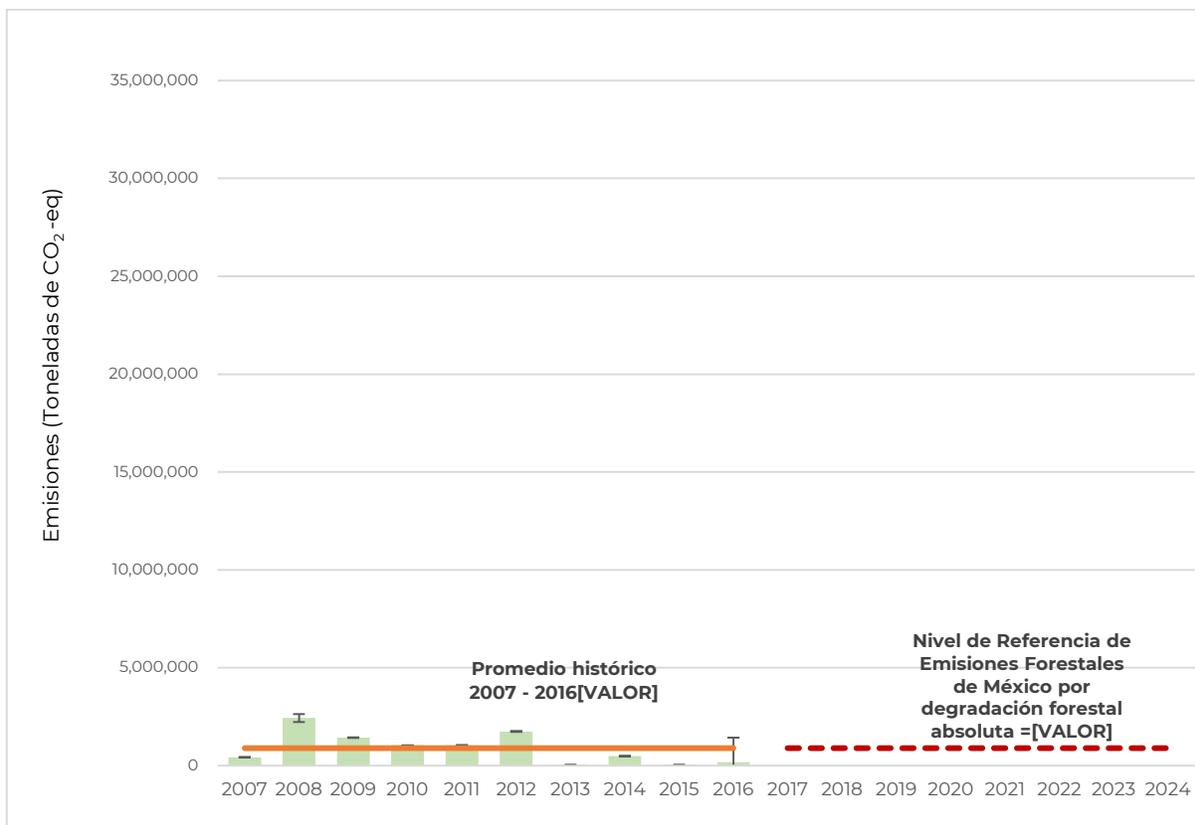


Figura 89. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de México (2007-2016), por degradación forestal absoluta

### 11.3. Análisis de incertidumbre

Las incertidumbres del NREF se obtuvieron a partir de la implementación de la metodología de propagación de las incertidumbres por la suma de acuerdo con el capítulo 3 de “Incertidumbres” del Volumen 1 de las Directrices del IPCC (2006).

$$U(\widehat{EBp}) = \frac{\sqrt{(U(\widehat{EB}_{07}) * \widehat{EB}_{07})^2 + (U(\widehat{EB}_{08}) * \widehat{EB}_{08})^2 + \dots + (U(\widehat{EB}_{16}) * \widehat{EB}_{16})^2}}{|\widehat{EB}_{07} + \widehat{EB}_{08} + \widehat{EB}_{09} + \dots + \widehat{EB}_{16}|}$$

Donde:

$U(\widehat{EBp})$  es la incertidumbre de NREF,  
 $U(EB_i)$  y  $\widehat{EB}_i$  ya fueron definidos previamente.

Esto se realizó en virtud de que el NREF se obtuvo a partir del promedio de las emisiones totales anuales ( $EBp$ ) del periodo 2007-2016. Este promedio se obtuvo sumando las emisiones totales del periodo de análisis y dividiendo esta suma entre el número de años del periodo de análisis. Considerando que el numerador es una suma de variables y el denominador una constante, resulta válido propagar las incertidumbres de un promedio a través de la suma. Este supuesto es válido toda vez que, las propiedades de la varianza lo sustentan, la varianza de  $\widehat{EBp}$  es una constante que multiplica a una variable aleatoria, lo que es igual al cuadrado de la constante por la varianza de la variable aleatoria, (que para este caso es la suma de las emisiones brutas anuales) lo que quiere decir que la constante no tiene efecto sobre la varianza de la variable  $\widehat{EBp}$ ; por la propiedad de invarianza ante transformaciones de escala del estimador del NREF.

El método de estimación de las incertidumbres de las emisiones totales fue descrito en la sección 10, en particular, en esta sección se expone que las emisiones totales anuales resultan de la diferencia

de las existencias totales anuales de carbono. Las incertidumbres de las emisiones totales anuales de carbono se obtuvieron a partir de la suma de las varianzas de las existencias de carbono en el año  $t$  y  $t-1$  y restando el efecto de la covarianza entre ambas existencias de carbono. Cabe mencionar que el valor de la covarianza entre estas variables es alto por su correlación temporal por lo que resulta indispensable estimarla. Las incertidumbres de las emisiones totales tuvieron valores de entre 17 y 34%.

## 12. ÁREAS DE MEJORA Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES

### 12.1. Áreas de Mejora

El desarrollo de reportes de GEI ha permitido conocer y utilizar la información disponible en el país de una manera más adecuada. Además, las necesidades de mejorar estos reportes en el sector forestal han motivado a que el país genere información crucial que contribuya a un monitoreo forestal eficiente de los bosques en México. En particular, como parte del presente NREF se ha avanzado de manera importante en la generación de nuevos insumos y en la implementación de métodos de estimación de carbono forestal más adecuados. Como parte de este proceso de mejora continua, se tienen identificado lo siguiente:

- Mejorar la colecta y gestión de la información capturada a través de la interpretación visual de imágenes satelitales en puntos de muestreo empleando la herramienta *Collect Earth*.
- Mejorar la detección y cuantificación de la degradación y recuperación a través de la fotointerpretación empleando imágenes de mayor resolución.
- Incrementar la precisión de la estimación de las áreas deforestadas con la combinación de los productos cartográficos generados con el software MAD-Mex en el marco de sistema SAMOF y de la información de muestreo.
- Incluir las tasas de incremento y pérdidas de carbono en los CGL del INFyS para los reservorios de BA, BS, MM y mantillo.
- Mejorar las estimaciones del COS.
- Actualizar las estimaciones de BA, BS, MM y mantillo con base en insumos más recientes y robustos.
- Contabilizar y propagar otras fuentes de incertidumbres como los provenientes de los errores de medición y modelos.
- Realizar ajustes en los procedimientos de colecta de información de campo del INFyS orientada a la estimación de carbono en sus cinco reservorios.
- Aumentar la automatización y sistematización de la compilación de emisiones, controles de calidad y elaboración de productos intermedios.
- Incluir el reporte de otras actividades REDD+ como conservación, incrementos y manejo; además de incorporar al reporte otros gases no CO<sub>2</sub>.
- Avanzar en la implementación del Perfeccionamiento de las Directrices 2019.
- Impulsar la divulgación de los materiales y resultados sobre cuantificación de GEI en el sector forestal en tres niveles: público en general, tomadores de decisiones y público especializado.

## 12.2. Fortalecimiento de capacidades

Durante el proceso de desarrollo del NREF se identificó la necesidad de fortalecer las capacidades en las tecnologías de la información para ayudar a automatizar la gestión de bases de datos, el manejo de productos intermedios, la integración de subprocesos y la aplicación de controles de calidad; esto con la finalidad de mejorar la eficiencia.

Es importante consolidar al equipo MRV sobre el análisis de impulsores de deforestación y degradación forestal, así como la modelación de carbono forestal que nos permita cuantificar las contribuciones de las acciones realizadas en el territorio y proyectar escenarios consistentes a las metas específicas del sector forestal planteadas en la NDC.

Algunas de las acciones específicas que se identifican es el fortalecimiento de capacidades en el uso y manejo de *software* para la gestión de base de datos, integración de procesos y el desarrollo de plataformas de usuario.

Además de estas actividades, también se valora la cooperación técnica entre países como estrategia de fortalecimiento de capacidades; ya que la colaboración entre especialistas de la región permite un intercambio y fortalecimiento de capacidades continua que ha ayudado a identificar insumos y enfoques que han retroalimentado y robustecido al sistema MRV de México. Por lo que se aprovecha para resaltar la importancia de este instrumento.

### 13. REFERENCIAS

- Acosta, M., F. Carrillo y R. Gómez. 2011. Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(4): 529-543.
- Acosta, M., J. Vargas, A. Velázquez y J. Etchevers. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6): 725-736.
- Acosta, M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera de México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. México. 135 p.
- Aguirre, O., J. Jiménez, G. Domínguez y E. Treviño. 2007. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Memorias del VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*.
- Aguirre, O. y J. Jiménez. 2011. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2 (6): 73-83.
- Ayala, R. 1998. Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la meseta central de Chiapas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 70p.
- Ayala, R., B. De Jong y H. Ramírez. 2001. Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la meseta central de Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(2): 153-157.
- Barajas-Morales, J. 1987. Wood specific gravity in species from two tropical forests in Mexico. *IAWA Journal*, 8(2), 143-148.
- Bechtold, W.A.; Patterson, P.L. 2005. The enhanced forest inventory and analysis program-national sampling design and estimation procedures. Gen. Tech. Rep. SRS-80. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 85 p.
- Brown, S., A. Gillespie y A. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4): 881-902.
- Bustamante, M. M., Roitman, I., Aide, T. M., Alencar, A., Anderson, L. O., Aragão, L., Asner, G. P., Barlow, J., Berenguer, E., & Chambers, J. 2016. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global Change Biology*, 22(1), 92-109.
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., & Baumgardner, G. A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1), 1-11.
- Cairns, M. A., Olmsted, I., Granados, J., & Argaez, J. 2003. Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest ecology and Management*, 186(1-3), 125-132.
- Castellanos, J., A. Velázquez, J. Vargas, C. Rodríguez y A. Fierros. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia* 30(1):123-128.
- Castillo, P., Lehtonen, P., Simula, M., Rosa, V., y Escobar, R. 1989. Proyecciones de los principales indicadores forestales de México a largo plazo (1988-2012). *Reporte interno. Subsecretaría forestal. Cooperación México-Finlandia. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). México*.
- Challenger, A., & Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. In *Capital natural de México* (Vol. 1, pp. 87-108). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M. Cairns, J. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. Lescure, B. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra y T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99.
- CONAFOR. 2012. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe de Resultados 2009-2014*. Jalisco, México.
- CONAFOR. 2015. *Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales de México*. Jalisco, México.
- CONAFOR. 2017a. *Estrategia Nacional para REDD+ 2017-2030. ENAREDD+*. Jalisco, México.: Comisión Nacional Forestal
- CONAFOR. 2017b. Emissions Reduction Initiative (IRE) Document. ER-PD Mexico. Forest Carbon Partnership Facility (FCPF) Carbon Fund. Comisión Nacional Forestal. Disponible en: [https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/\\_ENGLISH\\_6november\\_2017\\_Mx.pdf](https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/_ENGLISH_6november_2017_Mx.pdf)

- CONAFOR. 2018. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe de Resultados 2009-2014. Comisión Nacional Foresta
- CONAFOR. 2019. *Estado que Guarda el Sector Forestal en México 2019*. Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal.
- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Copyright© 1981, Columbia University Press.
- Dahlgren, R. M. T., Clifford, H. T. and Yeo, P. F. 1985. The Families of the Monocotyledons. Structure, Evolution and Taxonomy. *Nordic Journal of Botany*, Volume 7, Issue 3, page 254, June 1987.
- Day, J., W. Conner, F. Ley-Lou, R. Day y A. Machado. 1987. The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, México. *Aquatic Botany* 27: 267-284.
- de Jong, B., Masera, O., Etchevers, J., Martínez, R. D., Paz, F., Olguín, M., Anaya, C., Balbontín, C., Motolinia, M., & Guerrero, G. 2006. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1993 a 2002*. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques (0378-1127).
- DOF. 2005. *Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. México, DF: Diario Oficial de la Federación. Última Reforma 05-06-2018.
- DOF. 2018a. *Ley General de Cambio Climático*. México: Diario Oficial de la Federación. Última Reforma DOF 13-07-2018.
- DOF. 2018b. *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. México, DF: Diario Oficial de la Federación. 05-06-2018.
- Domínguez, G. 2005. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 63 p.
- Ellis, E. A., Romero Montero, A., & Hernández Gómez, I. U. 2015. *Evaluación y mapeo de los determinantes de deforestación en la Península Yucatán*. Retrieved from México, DF:
- Ellis, E. A., Romero Montero, J. A., Hernández Gómez, I. U., Porter-Bolland, L., & Ellise, P. W. 2017. Private property and Mennonites are major drivers of forest cover loss in central Yucatan Peninsula, Mexico. *Land Use Policy*, 69, 474–484.
- FAO. 2010. *Global forest resources assessment 2010*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2012. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. Términos y condiciones. Documento de trabajo de la evaluación de los recursos forestales No. 180. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. 2014. *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. Informe Nacional*. México. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. 2016. *Global Forest Resources Assessment 2015: How are the World's Forests Changing?* (Second edition ed.). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fittkau, E. J. and Klinge, N.H. 1973. On biomass and trophic structure of the central Amazonian rainforest ecosystem. *Biotropica* 5: 2-14.
- Gaucin, D. O. 2014. Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *Frontera norte*, 26, 3.
- Gebhardt, S., Wehrmann, T., Ruiz, M. A. M., Maeda, P., Bishop, J., Schramm, M., Kopeinig, R., Cartus, O., Kellendorfer, J., Ressler, R., Santos, L. A., & Schmidt, M. 2014. MAD-MEX: Automatic Wall-to-Wall Land Cover Monitoring for the Mexican REDD-MRV Program Using All Landsat Data. *Remote Sensing*, 6(5), 3923-3943.
- GOFC-GOLD. 2015. *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation*. Retrieved from
- Gómez-Mendoza, L., & Galicia, L. 2010. Temperate forests and climate change in Mexico: from modelling to adaptation strategies. *Climate change and Variability. SCIYO, Croatia*, 195-210.
- Guevara, M., C.E. Arroyo-cruz, N. Brunzell, C.O. Cruz-gaistardo, G.M. Domke, J. Equihua, J. Etchevers, D.J. Hayes, T. Hengl, A. Ibelle, K. Johnson, B. de Jong, Z. Libohova, R. Llamas, L. Nave, J.L. Ornelas, F. Paz, R. Ressler, A. Schwartz, S. Wills, and R. Vargas. 2020. Soil Organic Carbon Estimates for 30 cm Depth, Mexico and Conterminous USA, 1991-2011. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1737>.
- Guevara, M., C. Arroyo, N. Brunzell, C.O. Cruz, G. Domke, J. Equihua, J. Etchevers, D. Hayes, T. Hengl, A. Ibelle, K. Johnson, B. de Jong, Z. Libohova, R. Llamas, L. Nave, J.L. Ornelas, F. Paz, R. Ressler, A. Schwartz, A. Victoria, S. Wills and R. Vargas. 2020. Soil Organic Carbon across Mexico and the

- conterminous United States (1991-2010). *Global Biogeochemical Cycles*, 34, e2019GB006219. <https://doi.org/10.1029/2019GB006219>.
- INECC-CONAFOR. 2018. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero para el sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura 1990-2015. In INECC-SEMARNAT (Ed.), *México Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI)* (pp. 427-457). Ciudad de Mexico, Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología México.
- INECC-SEMARNAT. 2015. *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Retrieved from
- INECC-SEMARNAT. 2018a. *México. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (Primera ed.). Ciudad de Mexico, Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología México.
- INECC-SEMARNAT. 2018b. *México Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI)*. Ciudad de Mexico, Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología México.
- INEGI-CONABIO-INE. 2008. Ecorregiones Terrestres de México. Escala 1:1000000. México. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/region/biotic/ecort08gw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/ecort08gw)
- INEGI. 2005. *Guía para la interpretación de cartografía: uso de suelo y vegetación*. Ags., México.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. 2012. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. Serie IV (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- INEGI. 2013. *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. Serie V* (continuo nacional). In: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- INEGI. 2015. *Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250, 000. Serie VI*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. 2016a. Marco geoestadístico nacional. In: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. 2016b. *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. Serie VI. Capa Unión*. In: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- INEGI. 2017a. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. Serie VI. Conjunto Nacional. In. Aguascalientes, México: Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- INEGI. 2017b. *Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250, 000. Serie VI*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPCC. 2003. *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendía L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds): Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES.
- IPCC. 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*. (H. S. Eggleston, Buendía L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Ed. Vol. 4). Hayama, Japan: Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES).
- IPCC. 2019. Glossary. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Li, C., Kurz, W. A., Apps, M.J. and Beukema, S. J. 2003. Belowground biomass dynamics in the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector: recent improvements and implications for the estimation of NPP and NEP. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 126-136.
- Martínez-Yrizar, A., J. Sarukhan, A. Perez-Jimenez, E. Rincon, J. Maass, A. Solis-Magallanes, L. Cervantes. 1992. Above-Ground Phytomass of a Tropical Deciduous Forest on the Coast of Jalisco, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 8 (1): 87-96.
- Masera, O., Ordóñez, M. d. J., & Dirzo, R. 1992. Emisiones de carbono a partir de la deforestación en México. *Ciencia*, 43, 151-153.
- Masera, O. R., Ordóñez, M. J., & Dirzo, R. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change*, 35(3), 265-295.
- McNeill, J., Barrie, F. R., Buck, W. R., Demoulin, V., Greuter, W., Hawksworth, D. L., ... & Turland, N. J. (2012). *Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas (Código de Melbourne) adoptado por el decimotercero Congreso Internacional de Botánica Melbourne*,

- Australia, julio de 2011*. Madrid: Real Jardín Botánico & Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- Mc Vaughn R. 1992. Gymnosperms and Pteridophytes. En: Anderson W.R. Ed. Flora Novo-Galiciana. Vol. 17, pp. 1-467, The University of Michigan Press, Ann Harbor.
- Menéndez, R. 2007. How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie*, 150(2), 355.
- Méndez-González (2017). Revisión de metadatos de los modelos alométricos de biomasa usados para la estimación de carbono a nivel nacional de México (documento inédito).
- Mequeas González Zárate 2008, Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en la regeneración natural de, *Pinus Maximinoi* H.E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterena* Mtz. Y *Quercus* sp.
- Mickel, J.T. and J.M. Beitel, 1988. Pteridophyte flora of Oaxaca, México. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 46: 1-568.
- Mickel, J.T. 1992. Pteridophytes. En: W.M. Anderson (ed.). Flora Novo-Galiciana, Gymnosperms, 17. The University of Michigan Herbarium. Ann. Arbor, pp. 120-467.
- Miranda, F., & Hernández, E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Botanical Sciences*(28), 29-179.
- Mokany, K., Raison, J.R. and Prokushkin, A.S. 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.
- Morfín-Ríos, J.E., E.J. Jardel P., E. Alvarado C., y J.M. Michel-Fuentes. 2012. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Návar, C. J. 2009a. Allometric equations and expansion factors for tropical dry forest trees of Eastern Sinaloa, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 45-52
- Návar, C. J. 2009b. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427-434.
- Návar, J. 2010a. Biomass allometry for tree species of Northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. (12): 507-519.
- Návar, J. 2010b. Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y Bosques* 16 (1):51-69.
- Olofsson, P. 2018. Poststratification. *In prep*, 148.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. 2013. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122-131.
- Osorio, P. L., Mas, J.-F., Guerra, F., & Maass, M. 2015. Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(88), 60-74.
- Pimienta, D., G. Domínguez, O. Aguirre, F. Hernández y J. Jiménez. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1): 35-46.
- Portillo-Quintero, C., y Smith, V. 2018. Emerging trends of tropical dry forest loss in North and Central America during 2001–2013; the role of contextual and underlying drivers. *Applied Geography*, 94, 58–70. Power, M. (1997). *The audit society: Rituals of verification*. Oxford. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622817301078>
- Poupon, H. 1980. Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe Sahélienne au nord du Sénégal. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, France.
- Ravindranath, N. H., y Ostwald, M. 2008. *Carbon Inventory Methods Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects* (Vol. 29). Dordrecht: Springer Science + Business Media.
- Rodríguez R. 2007. Capacidad de almacenamiento de carbono contenido en tres ecosistemas de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 95 p.

- Rodríguez R., J. Jiménez, O. Aguirre, E. Treviño y R. Razo. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai* 5 (3): 317-327.
- Rodríguez, L. R., Jiménez, P. J., Meza, R. J., Aguirre, C., O., y Razo-Zarate, R. 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(4), 215 -222.
- Rojas-García, F., de Jong, B. H. J., Martínez-Zurimendí, P. & Paz-Pellat, F. 2015. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science*, 72, 835-864.
- Ross, Sheldon. 2010. *A first Course in Probability*. 8va edición. Prentice Hall. ISBN-13: 978-0-13-603313-4.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México: México. Editorial Limusa*.
- SAGARPA. 2018. Anexo estadístico del Sexto Informe de Gobierno del periodo 2012-2018. Disponible en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/sexta-informe-de-gobierno/resource/2b4ff677-0fa9-4eb4-923c-bd6028173ffa> (tabla M04-597B Presupuesto ejercido por SAGARPA).
- SARH. 1994. *Inventario Nacional Forestal Periódico. Memoria Nacional*. México, D.F: ubsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., & Mohar, A. 2017. *Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales*. Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Schlamadinger, B., K. Boonpragob, H. Janzen, W. Kurz, R. Lasco y P. Smith. 2003. Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto. Capítulo 4. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 132 p.
- Scott, C. T. 2018. Estimation Using Ratio-to-Size Estimator Across Strata and Subpopulations. <https://es.scribd.com/document/388141246/Estimation-Using-Ratio-To-Size-Estimator-Across-Strata-and-Subpopulations-2018-04-18>
- Segura, M., M. Kanninen y D. Suárez. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforest Syst* 68:143-150.
- SEMARNAP. 1998. *Diagnóstico de la deforestación en México: Subsecretaría de Recursos Naturales. Unidad del Inventario Nacional De Recursos Naturales*.
- SEMARNAT, CONAFOR, INEGI, INE e INIFAP. 2004. Documento estratégico rector del Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Guadalajara, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional Forestal, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Instituto Nacional de Ecología e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Simpson, William T. 1993. Specific gravity, moisture content, and density relationship for wood. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-76. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 13 p.
- Simula, M. 2009. Hacia una definición de degradación de los bosques: análisis comparativo de las definiciones existentes. *Roma, Italia: Departamento Forestal, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*.
- Singh, S.S., Adhikari, B.S. and Zobel, D.B. (1994). Biomass, productivity, leaf longevity, and forest structure in the central Himalaya. *Ecological Monographs* 64: 401-421.
- Stamm, A.J. 1964. *Wood and cellulose science*. New York: The Ronald Press. 549 p.
- UNFCCC. 2011. *Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010*.
- UNFCCC. 2012. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011. FCCC/CP/2011/9/Add.2. In: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- USFS, 2008. Accuracy standards. In: *Forest Survey Handbook*. FSH 4809.11, chapter 10. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service]. [www.fs.fed.us/im/directives/fsh/4809.11/4809.11\\_10.doc](http://www.fs.fed.us/im/directives/fsh/4809.11/4809.11_10.doc) (accessed June 3rd, 2020).
- Van Wagner, C. E. 1982. Practical aspects of the line intersect method. Canadian Forest Service. Chalk River, Ontario, Canada.

- Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. D., Saucedo, R. M., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. L. 2002a. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*(62), 21-37.
- Velázquez, A., Mas, J., Mayorga Saucedo, R., Díaz, J., Alcántara, C., Castro, R., Fernández, T., Palacio, J., Bocco, G., & Gómez-Rodríguez, G. 2002b. Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. *Biodiversitas*, 41(6).
- Villaseñor J. L. y Ortiz E. 2004. Los géneros de plantas vaculares de la flora de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México No. 75. Pp 105-135.
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., Chave, J. & Lopez-Gonzales, G. 2009. Global Wood Density database. <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.