



PROTOCOLO

Estimación de las reservas de carbono en la biomasa forestal en México

Fortalecimiento de la preparación REDD+ en México y fomento de la cooperación Sur-Sur
Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco, México
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP)

mediante una donación del

Gobierno de Noruega
Ministerio de Asuntos Internacionales

Zapopan, Jalisco, México

Julio, 2015



Autores

Jorge Eduardo Morfín Ríos
José María Michel Fuentes
René González Murguía
Oswaldo Carrillo
Rafael Mayorga
Luis Rangel
Jesús Orozco Orozco
Gustavo Rodríguez Alcaraz
Gabriela Guerrero Pacheco

Otros colaboradores

Carlos Omar Cruz Gaistardo
Javier Fernández

Contenido

Acrónimos	4
1. INTRODUCCION	6
2. ANTECEDENTES	9
3. OBJETIVOS	16
3.1. Generales	16
3.2. Específicos	16
3.3. Alcance	16
3.4. Alineación con las directrices del IPCC 2006.....	17
4. INSUMOS.....	19
4.1. Base de Datos para Monitoreo Forestal	19
4.1.1. Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS).....	19
4.1.2. Inventario de Suelos (caso especial)	30
4.2. Base de Datos Adicionales para el Proceso de Estimación	46
4.2.1. Modelos Alométricos	46
4.2.2. Densidades de la Madera.....	60
4.3. Base de Datos Espaciales disponibles	66
4.3.1. Descripción.....	66
4.3.2. Utilidad en el Proceso de Estimación	67
5. CLASIFICACIÓN	68
5.1. Determinación de las Clases de Uso de Suelo y Vegetación para la Estimación de Factores de Emisión	68
5.1.1. Definición de Bosque.....	68
5.1.2. Clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	69
5.1.3. Clasificación para el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Invernadero ...	71
5.1.4. Clasificación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).....	72
5.2. Descripción de Transiciones para la Estimación de Factores de Emisión	73
5.2.1. Permanencias	73
5.2.2. Deforestación	73
5.2.3. Degradación	74
5.2.4. Reforestación	74
5.2.5. Recuperación.....	74

5.2.6.	Cambio entre Usos de Suelo No Forestales	74
6.	ESTIMACIONES	75
	Descripción de los Depósitos en Función de Datos del INFyS.....	75
6.1.	Estimaciones a Nivel de Observación (Arbolado Vivo, Arbolado Muerto en Pie, Tocones, Material Leñoso Caído, Hojarasca y Suelo).....	75
6.1.1.	Métodos	75
6.1.2.	Resultados	80
6.2.	Estimaciones a Nivel de Unidad de Muestreo (Arbolado Vivo, Arbolado Muerto en Pie, Tocones, Material Leñoso Caído, Hojarasca y Suelo).....	84
6.2.1.	Métodos	84
6.3.	Estimaciones a Nivel de Clase (Arbolado Vivo, Arbolado Muerto en Pie, Tocones, Material Leñoso Caído, Mantillo y Suelo).	93
6.3.1.	Métodos	93
	Estimaciones de Referencia de Carbono.....	112
	Estimaciones en los perfiles y barrenaciones de suelo.....	112
	Almacenes de referencia de subcategorías de vegetación y uso de suelo	113
7.	CONCLUSIONES	115
8.	RECOMENDACIONES	122
9.	BIBLIOGRAFIA	124

Acrónimos

AFOLU: Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra
ASMA: Análisis de Sensibilidad de Modelos Alométricos
AVHRR: Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución
CICC: Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COLPOS: Colegio de Posgraduados, Universidad Autónoma Chapingo
CONABIO: Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad
CONAFOR: Comisión Nacional Forestal
CO₂: dióxido de carbono
COP: Conferencia de las Partes
COS: Carbono Orgánico en los Suelos minerales
CTADA: Costos totales de agotamiento y degradación ambiental
DA: Datos de Actividad
ECOSUR: El Colegio de la Frontera Sur
ENACC: Estrategia Nacional de Cambio Climático
FA: Factor de Absorción
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FE: Factor de Emisión
FRA: Evaluación de los Recursos Forestales
GEI: Gases de Efecto Invernadero
INE: Instituto Nacional de Ecología (hoy INECC)
INECC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGEI: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información
INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
INF: Inventario Nacional Forestal
INFyS: Inventario Nacional Forestal y de Suelos
IPCC: Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
LULUCF: Uso del suelo, cambio en el uso del suelo y silvicultura
MDL: Mecanismos de Desarrollo Limpio
MRV: Medición, reporte y verificación
MA: Modelo Alométrico
NOAA: Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica
NREF: Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
ONU: Organización de las Naciones Unidas
PMC: Programa Mexicano del Carbono
PMN: Programa México Noruega
PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo

REDD+: Reducción de emisiones por deforestación y degradación¹
SAHR: Secretaria de Agricultura y Recursos Hídricos
SEMARNAP: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEMARNAT: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
UMP: Unidad de Muestreo Primaria
UMS: Unidad de Muestreo Secundaria
UNAM: Universidad Autónoma de México
UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USCUS: Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

¹ El “+” responde a otras actividades como manejo sostenible de los bosques, incremento y conservación de los reservorios de carbono

1. INTRODUCCION

El último siglo se ha caracterizado por el acelerado crecimiento de la población y sus economías, demandando más recursos naturales y energía que en cualquier otro periodo. Los impactos generados son intensos y la modificación de los ecosistemas se ha extendido por todo el planeta con importantes consecuencias sociales y económicas. (MEA, 2005).

Nuestro País ha incrementado su población durante el periodo 1900 a 2010, de 106 mil a 114 millones de habitantes (INEGI, 1900 y 2010) con una marcada tendencia a la concentración de población en zonas urbanas, acentuando la presión sobre el medio ambiente.

Durante el mismo periodo, la evaluación de los recursos forestales (FRA-FAO) situaba a México como uno de los países con importantes tasas de deforestación bruta, con una tendencia a la reducción durante los periodos 1990-2000 con 354,000 ha/año, 2000-2005 con 235,000 ha/año, y 2005-2010 con 155,000 ha/año (FAO, 2010), lo que significó pasar de la mitad del territorio con signos de degradación (52%), a una cuarta parte (24%) en el último periodo. El mayor deterioro se ha localizado en las principales ciudades y zonas urbanas donde se presentan serios problemas de calidad del aire y del agua. La evaluación del año 2012, ubica a México en la posición 13° de los países con mayores emisiones de CO₂ causantes del cambio climático (INECC, 2013).

Esta pérdida y deterioro del capital natural viene acompañada de importantes costos económicos. Según cálculos del INEGI, el costo total del agotamiento y la degradación ambiental (CTADA) representó 6.5% del PIB en 2011 (INEGI, 2013).

Consiente de la problemática nacional e internacional México firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) el 13 de junio de 1992. Firmó el Protocolo de Kyoto por voto unánime del Senado de la República en la COP 03 en 1997. A pesar de ser un país No Anexo I, hasta hoy ha elaborado 5 Comunicaciones Nacionales y ha desarrollado diferentes instrumentos y políticas nacionales en materia de cambio climático. Incluyendo la publicación de la Ley General de Cambio Climático en 2012 (LGCC), la Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40 en 2013 (ENCC), que plantea reducir en 30 y 50% las emisiones en 2020 y 2050, respectivamente, respecto al año 2000. Importante es también el Programa Especial de Cambio Climático (PECC 2014-2018), que fija una reducción de 83.2 megatoneladas de CO₂ equivalente a través de acciones específicas por sector, e incluye acciones de adaptación a realizar por la administración pública federal.

México se encuentra implementando acciones y diseñando instrumentos que obedecen a la política de mitigación incluyendo reducción de emisiones provenientes del sector USCUSS.

Actualmente, México se encuentra en una etapa de preparación para acceder e implementar de manera voluntaria al Mecanismo REDD+. Para ello el país debe de presentar como requisitos una Estrategia Nacional REDD+, contar con un Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV), un sistema de información de salvaguardas y tener un Nivel de Referencia de Emisiones Forestales

(NREF). Se ha identificado que el sistema MRV es un elemento central en el mecanismo REDD+ para evaluar la eficiencia de las acciones de reducción de emisiones producto de la deforestación y degradación, siguiendo el marco de la CMNUCC y las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). En este sentido se estableció una línea de Cooperación en 2012 con el gobierno de Noruega con el proyecto "Fortalecimiento del proceso de preparación para REDD+ en México y Fomento a la Cooperación Sur-Sur", que coordina el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con apoyo técnico del Programa de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que implementa la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para estrategias y políticas de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal, conservación, manejo sostenible de bosques y la mejora de los acervos de carbono (REDD+).

La estimación del contenido del carbono en la biomasa forestal y la incertidumbre asociada depende de la información disponible en el País (inventarios forestales, información sobre coberturas de uso de suelo y vegetación, imágenes satelitales, modelos de estimación, entre otras cosas) de acuerdo a las necesidades de temporalidad del reporte. Actualmente, México cuenta con un Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) con temporalidad quinquenal y la cobertura de uso de suelo y vegetación elaborada por el INEGI, con cobertura nacional para este periodo, lo que permite la estimación de la biomasa cada cinco años a partir de una muestra de 26,220 unidades primarias de muestreo. Mediciones anuales del INFyS que corresponden al 20% de la muestra total, se emplean para generar modelos espacialmente explícitos, apoyados en productos satelitales para cada año.

Para la estimación del carbono en la biomasa y sus cambios, es necesaria la estimación de las diferencias en las reservas de carbono en diferentes tiempos (t_2-t_1). Este enfoque se denomina cambios en las existencias de carbono (IPCC 2006) y son la base para el monitoreo de emisiones y absorciones de CO₂ verificables en tierras forestales (IPCC 2006). El IPCC ofrece el siguiente marco conceptual para la estimación de emisiones y/o absorciones de CO₂:

$$\text{Datos de actividad} \times \text{Factor de Emisión} = \text{Emisiones/Absorciones de CO}_2$$

Para el sector forestal, los datos de actividad son cambios en la superficie de uso forestal de acuerdo a la clasificación del IPCC y en un sistema MRV pueden ser detectados mediante la comparación de cartografía disponible para el periodo de análisis, o con el apoyo de un sistema de monitoreo satelital. En México, el proyecto Fortalecimiento REDD+ y cooperación Sur-Sur - Programa México Noruega (PMN), ha elaborado evaluaciones sobre datos de actividad a partir de la información cartográfica de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con sus series II, III, IV y V, con una cobertura nacional, la cual comprende un periodo de tiempo de 1993 a 2011. La estimación de los factores de emisión se basa en la información del INFyS para las estimaciones de biomasa y carbono. La estratificación para el reporte de los cambios en los reservorios de carbono es definida por la clasificación cartográfica y de los productos satelitales, si como su correspondencia a las clases establecidas por el INEGI, que conforman el sistema de monitoreo.

Actualmente se han desarrollado esfuerzos de rediseño y mejora del INFyS, la generación y adición de nuevos modelos alométricos y procesos de estimación, e investigaciones en un esquema MRV enfocado a evaluar con mayor precisión la deforestación y degradación que permitan estimar las emisiones/absorciones de CO₂ en el sector forestal y para futuras actividades REDD+.

Para asegurar la continuidad y consistencia de futuras estimaciones, se documenta y presentan los procedimientos desarrollados, algunos de los cuales cuentan con herramientas automatizadas o semi-automatizadas para facilitar su procesamiento. Los esfuerzos aquí presentados fueron diseñados para producir estimadores consistentes, exhaustivos y exactos de las reservas de carbono en la biomasa forestal y por ende, en los cambios de cobertura forestal en México.

El presente documento presenta los antecedentes en la estimación nacional de las reservas de carbono y sus cambios en el país. Presenta los insumos utilizados para el desarrollo de los factores de emisión, metodologías de integración de datos del INFyS, aseguramiento de control de calidad, la definición de “Bosque” utilizada en la presente evaluación, los sistemas de clasificación de los insumos utilizados, los resultados de la homologación de clases y el procedimiento para la evaluación de los cambios en la cobertura forestal del país. Así mismo, los procesos, metodologías y el desarrollo de herramientas para la estimación de los factores de emisión anuales de GEI e incertidumbres, asignación de FE por tipo de dinámica, propagación de incertidumbres en el sector uso del suelo, cambio en el uso del suelo y silvicultura (USCUSS), de acuerdo con las decisiones de la CMNUCC, siguiendo las directrices metodológicas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2003). Finalmente, se presenta en las recomendaciones, las oportunidades de mejora y las líneas de investigación para ser solventadas.

2. ANTECEDENTES

La preocupación por la problemática ambiental a nivel mundial se manifiesta por primera vez en la primer Cumbre de la Tierra en Estocolmo (1972). La Carta Mundial de la ONU para la Naturaleza (1982), adopta el principio de respeto a toda forma de vida y llama a un entendimiento entre la dependencia humana de los recursos naturales y el control de su explotación.

El concepto de Desarrollo Sostenible se establece en 1987 en el Informe Brundtland, Nuestro Futuro Común. Donde se pone de manifiesto que las políticas de desarrollo económico globalizadas hasta ese momento deberían replantearse para no comprometer las necesidades de las futuras generaciones.

El acuerdo de las Naciones Unidas “Agenda 21” nace en la Segunda Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro (1992), donde se aprueban el Convenio sobre el Cambio Climático, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Declaración de Río) y la Declaración de Principios Relativos a los Bosques. Se modifica la definición original del Informe Brundtland, por una idea de conciliación entre el progreso económico, la justicia social y la preservación del medio ambiente.

El Gobierno de México ratificó su responsabilidad global y su compromiso por desarrollar acciones de mitigación sobre cambio climático ante la Convención Marco de las Naciones Unidas, tras la aprobación del senado el 11 de marzo de 1993. Para alcanzar el objetivo de la Convención se definieron compromisos para las Partes firmantes, con base en el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, bajo el cual los países desarrollados, conocidos como países “Anexo I”, adoptaron el compromiso cuantitativo de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para regresar, en el año 2000, a los volúmenes de emisión que tenían en 1990 y mantenerse en esos niveles.

Los países en desarrollo “No Anexo I” (como México), no tienen compromisos cuantitativos de reducción de emisiones, no obstante comparten los compromisos aplicables a todas las partes de la convención, entre los que figuran actividades de planeación, implementación de acciones, educación y difusión del conocimiento. En este sentido, México elabora documentos de planeación a nivel nacional y estatal, y Comunicaciones Nacionales de sus respectivos inventarios de emisiones de GEI.

Actualmente, el Gobierno de la República encabezado por el Presidente Enrique Peña Nieto, asumió con plena responsabilidad el compromiso de impulsar un México con crecimiento sustentable, en armonía con nuestro entorno natural. Para conseguirlo, se promueven reformas y políticas públicas, que incluyen el cuidado del medio ambiente como un elemento esencial para detonar mayor desarrollo económico, aumentar la productividad, generar empleos y superar la pobreza en el largo plazo.

Con esta visión, en cumplimiento de la Ley de Planeación y del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, se integró el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018, cuyos objetivos, estrategias, líneas de acción e indicadores se alinean con la meta Nacional de “México Próspero” del Plan Nacional de Desarrollo y los compromisos internacionales asumidos por el país en la materia.

Tras la presentación hecha por el gobierno de México de su “Contribución Intencional Determinada Nacionalmente” (Intended Nationally Determined Contribution o INDC por sus siglas en Inglés) a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), los Presidentes Enrique Peña Nieto y Barack Obama reafirmaron su compromiso por atender el cambio climático global, una de las mayores amenazas que enfrenta la humanidad.

Los compromisos de Reducción No Condicionados involucran la reducción del 25% de sus emisiones de GEI y de contaminantes climáticos de vida corta al año 2030. Implica la reducción del 22% de GEI y el 51% de Carbono Negro. Así como la reducción del 40% de las emisiones por unidad de Producto Interno Bruto en el periodo 2013-2030.

Los Compromisos de Reducción Condicionada se refieren al caso en que la reducción del 25% de las emisiones de GEI no se cumpla y se permite hasta un 40%, sujeta a la adopción de un acuerdo global que incluya temas como un precio al carbono internacional, ajustes a aranceles por contenido de carbono, cooperación técnica, acceso a recursos financieros de bajo costo y a transferencia de tecnología, todo ello en una escala equivalente con el reto del cambio climático global. Bajo las mismas condiciones, las reducciones de GEI podrán incrementarse hasta en un 36% y las reducciones de Carbono Negro a un 70% al 2030.

Los esfuerzos están enfocados a Bioxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFCs), Hexafluoruro de Azufre (SF₆) y Carbono Negro (BC). Tomando como línea base el año 2013, bajo escenarios de proyección de emisiones basadas en un crecimiento económico en ausencia de políticas de cambio climático.

El gobierno de México considera como prioridad la adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad del país. Así como una oportunidad para impulsar medidas y acciones de mitigación que redunden en un incremento de la capacidad adaptativa de su población y de sus sistemas naturales y productivos. La prioridad de estas acciones es proteger a la población de los diversos impactos del cambio climático, como son los fenómenos hidrometeorológicos extremos que se vinculan a los cambios de temperatura del planeta, al mismo tiempo que aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica del país y de los ecosistemas que albergan nuestra biodiversidad. Para ello, se establecen como metas más relevantes: fortalecer la capacidad adaptativa de al menos 50% de los municipios más vulnerables del territorio nacional, establecer sistemas de alerta temprana y gestión de riesgo en todos los órdenes de gobierno y alcanzar una tasa cero de deforestación. Las acciones de adaptación propuestas propician las sinergias positivas con las acciones de mitigación.

A nivel subnacional, las entidades federativas y los municipios también han emprendido esfuerzos de adaptación que están contemplados en sus respectivos planes de cambio climático en tres grupos de acción:

1. Adaptación del sector social ante el cambio climático. Orientado particularmente a los sectores sociales que se encuentra viviendo en zonas de alta vulnerabilidad y riesgo por eventos hidrometeorológicos debidos al cambio climático.
2. Adaptación basada en ecosistemas. Orientado a la conservación de los servicios ambientales como el secuestro de carbono, la provisión y mantenimiento del agua, la conservación del hábitat para la permanencia de especies, la reducción de los impactos ocasionados por los desastres meteorológicos, y la formación y mantenimiento del suelo; servicios que se encuentran amenazados seriamente por actividades humanas y por los efectos del cambio climático.
3. Adaptación de la infraestructura estratégica y de los sistemas productivos. Orientada a incorporar en el diseño, construcción y vida útil de los proyectos de infraestructura productiva criterios para reducir la vulnerabilidad e incrementar su resistencia, así como para incrementar su productividad y competitividad ante los efectos del cambio climático.

En especial el segundo grupo de acciones de adaptación basados en ecosistemas, establece fuertes compromisos como la tasa 0% de deforestación para el 2030, la reforestación, restauración y conservación de los ecosistemas para el incremento de la conectividad de las Áreas Naturales Protegidas y corredores biológicos, el aumento de la captura de carbono, la protección a especies prioritarias y la gestión integral del agua en sus diferentes usos.

El 25 de abril de 2005 se crea con carácter permanente la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) con el objetivo de coordinar a las dependencias y entidades del gobierno federal en materia de políticas de prevención y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y adaptación a los efectos del cambio climático, con el propósito de cumplir con los compromisos suscritos ante la CMNUCC. Así como promover el fortalecimiento de las capacidades nacionales de monitoreo, reporte y verificación, en materia de mitigación o absorción de emisiones.

En 2007 la CICC aprobó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC) elaborada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la cual se deriva el Programa Especial de Cambio Climático 2014–2018, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2013–2018, incorporado en el Eje Rector 4 dedicado a la Sustentabilidad Ambiental.

Para la ejecución de la ENAREDD+ se plantean siete componentes y sus respectivas líneas de acción:

1. Políticas públicas y marco legal, los cuales buscan Lograr la transversalidad, coordinación, coherencia y operación integrada de programas y políticas, que sean favorables para REDD+, generen cobeneficios y sean adaptables a los contextos de los diferentes paisajes forestales de las zonas rurales.

- a. Articular y mejorar las leyes, políticas e instrumentos al interior del sector ambiental
 - b. Adecuar políticas sectoriales para aprovechar y consolidar espacios de coordinación con enfoque territorial.
 - c. Diseñar y operar los Planes, Programas y Políticas con un enfoque territorial y de largo plazo que permita un manejo sustentable de ecosistemas forestales.
 - d. Integrar e impulsar una agenda de cambios regulatorios que dé certidumbre a la implementación de la ENAREDD+.
2. Esquemas de Financiamiento, que busquen diseñar y establecer un sistema de financiamiento flexible, múltiple, diverso, gradual y eficiente, que facilite la implementación de políticas, acciones y actividades encaminadas a REDD+ y que garanticen el mantenimiento en el largo plazo de los beneficios de los bienes y servicios ambientales y socioeconómicos y que brindan los ecosistemas forestales.
 - a. Identificar alternativas financieras que incentiven una mayor inversión para el desarrollo de actividades relacionadas con REDD+ y en el marco de un desarrollo rural sustentable.
 - b. Promover mecanismos de financiamiento internacional para REDD+.
 - c. Diseñar y/o adecuar instrumentos e incentivos económicos y financieros para administrar recursos de financiamiento para REDD+, (incluyendo esquemas de distribución de beneficios).
 - d. Gestionar financiamiento para mejorar las capacidades institucional y, comunitaria y de los dueños y poseedores de los recursos forestales bosques para actividades compatibles con REDD+.
 - e. Promover mecanismos para impulsar el mercado de aumento de acervos de carbono forestal.
3. Arreglos institucionales y desarrollo de capacidades, con el objetivo de asegurar mecanismos y espacios institucionales con capacidad suficiente entre las instituciones federales, estatales y municipales, para el diseño, la implementación y coordinación efectiva de la ENAREDD+, según corresponda a la distribución de competencias.
 - a. Fortalecer, promover y generar condiciones de gobernanza local en la base de la planeación y operación de las acciones para REDD+.
 - b. Contar con arreglos institucionales necesarios para el desarrollo de una política pública con un enfoque territorial para promover el DRS.
 - c. Fortalecer o crear las capacidades e instituciones responsables de la implementación de la ENAREDD+.
4. Niveles de referencia, que permitan la desagregación en niveles de referencia estatales de manera que se pueda evaluar el desempeño en términos de mitigación de las actividades REDD+ emprendidas, incluyendo proyectos de captura de carbono que desarrollen acciones de mitigación en el sector forestal.

- a. Desarrollar y consolidar capacidades institucionales que permitan al país mejorar de forma continua la construcción de los Niveles de Referencia de emisiones y remociones de carbono
 - b. Desarrollar un análisis de línea base histórica sobre la dinámica en el cambio de uso de suelo y cobertura a nivel nacional con posibilidad de detallarse a nivel estatal.
 - c. Desarrollar un análisis de causas de la deforestación y degradación de los bosques.

- 5. Monitoreo, reporte y verificación, que consiste en el desarrollo un sistema nacional de monitoreo forestal robusto y transparente para el monitoreo, reporte y verificación de las actividades de mitigación en el sector forestal y que contribuya a dar seguimiento a la efectividad de las políticas de mitigación, que ofrezca transparencia y precisión tanto como sea posible, y que promueva la participación local y comunitaria.
 - a. Diseñar y crear el sistema nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación para REDD+.
 - b. Desarrollar y consolidar capacidades para instrumentar y mantener el sistema de MRV a diferentes escalas.
 - c. Desarrollar acuerdos institucionales para la operación del sistema MRV.

- 6. Salvaguardas sociales y ambientales cuyo propósito es el integrar un Sistema Nacional de Salvaguardas (SNS) y un Sistema de Información de Salvaguardas (SIS) para el seguimiento, reporte y garantizar el cumplimiento de las salvaguardas establecidas en los Acuerdos de Cancún de la CMNUCC (decisión 1/CP.16), considerando lo establecido en la decisión 12/CP.17 adoptada en Durban en 2011, así como de los artículos 1° y 2° de la Constitución Mexicana y el artículo 134 Bis de la LGDFS.
 - a. Identificar los elementos y arquitectura para diseñar el Sistema Nacional de Salvaguardas (SNS).
 - b. Identificar las medidas necesarias para la implementación del SNS.
 - c. Promover un proceso de participación y comunicación durante el diseño e implementación del SNS para REDD+.
 - d. Fortalecer las capacidades en los diferentes órdenes de gobierno y con los actores relevantes en el tema de salvaguardas.
 - e. Asegurar el cumplimiento a las salvaguardas de REDD+ en el desarrollo e implementación de las acciones de REDD+.

- 7. Comunicación, participación social y transparencia, cuyo objetivo es el garantizar la comunicación, la participación social, la transparencia y la rendición de cuentas entre comunidades, organizaciones sociales y gobierno para lograr los objetivos REDD+ y el cumplimiento de sus salvaguardas.
 - a. Diseñar e implementar una Estrategia de Comunicación que contribuya al logro de los objetivos de REDD+ fomentando la participación social a través de un proceso amplio de comunicación efectiva y multidireccional.

- b. Fortalecer las plataformas existentes de participación social relevantes para REDD+.
- c. Desarrollar esquemas o mecanismos de participación que permitan la intervención activa de ejidos, comunidades y propietarios en formas asociativas y de corresponsabilidad.
- d. Promover y garantizar la participación de las mujeres y otros grupos de atención específica.
- e. Establecer mecanismos de retroalimentación, atención a quejas, rendición de cuentas y acceso a la información que considere como principios la accesibilidad, eficacia, efectividad y transparencia para las acciones realizadas en el marco de la ENAREDD+

Como parte de los esfuerzos y compromisos nacionales e internacionales para la reducción de emisiones por deforestación y degradación, con especial énfasis en los componentes 4 y 5 de la ENAREDD+, México necesita cuantificar de una manera sistemática, precisa y transparente las emisiones y absorciones de carbono proveniente de los diferentes reservorios y flujos de biomasa forestales del país. Para materializar tales objetivos, un insumo indispensable es la estimación de los Factores de Emisión (FE), los Factores de Absorción (FA) y sus respectivas incertidumbres provenientes del carbono de la biomasa en sus respectivos almacenes. Si bien, actualmente México cuenta con varias estimaciones de FE, FA e incertidumbres de la biomasa y sus flujos a nivel nacional y a escalas locales, éstas han sido desarrolladas bajo metodologías heterogéneas, poco documentadas y utilizando sólo una parte de toda la información disponible.

Por ello, es imprescindible desarrollar nuevos estimadores de los FE, FA y sus incertidumbres con metodologías robustas y debidamente documentadas, para que puedan ser replicables, capaces de integrar la mejor información generada hasta el momento en el país y ésta sea utilizada de la manera más adecuada como lo sugiere el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

En este sentido, este trabajo propone nuevas estimaciones de los FE, FA y sus incertidumbres del carbono de la biomasa en sus respectivos almacenes siguiendo las directrices del IPCC (2003). De manera detallada se desglosan los métodos utilizados y los resultados obtenidos de los FE, FA, así como las incertidumbres para las siguientes transiciones de las tierras forestales y praderas definidas en el IPCC: “Tierras Forestales” que permanecen como “Tierras Forestales” (TF-TF), “Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales Degradadas” (TF-TFd), “Otros Usos que pasaron a Tierras Forestales” (OT-TF) y “Tierras Forestales que pasaron a Otros Usos”(TF-OT); así como “Praderas que permanecen como Praderas” (PDR-PDR), “Otros Usos que pasaron a Praderas” (OT-PDR) y “Praderas que pasaron a otros Usos” (PDR-OT). Los estimadores obtenidos para cada categoría de transición están reportados a nivel nacional de acuerdo a los estratos definidos en el protocolo de estratificación (Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Surb, 2014). Los insumos utilizados para obtener los estimadores fueron los datos del muestreo y re-

muestreo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2012), las series II, III, IV y V de la cartografía de uso de suelo y vegetación de México (INEGI 1993-2010) y la versión 20 de las estimaciones de carbono a nivel de árbol (Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur b, 2014).

En el presente documento se muestran en primer lugar los métodos utilizados para la estimación del carbono a nivel de árbol, los FE, FA y sus incertidumbres del carbono de la biomasa a nivel de subcategoría y por último los criterios de asignación a las áreas de las subcategorías. Posteriormente, se muestran y analizan los resultados obtenidos y finalmente se generan algunas de las principales conclusiones de este trabajo referentes al proceso de estimación.

3. OBJETIVOS

3.1. Generales

Consolidar e institucionalizar en la Comisión Nacional Forestal el Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) y los procesos de preparación de información, estimación y reporte de las reservas forestales, biomasa y carbono contenido, así como su dinámica de cambio.

3.2. Específicos

1. Proveer protocolos ejecutables que consoliden y semi-automatizen la estimación del carbono en la biomasa en México
2. Estimar el total del carbono almacenado en la biomasa en todos los reservorios de las áreas forestales del país con base en los datos obtenidos en el INFyS
3. Integrar información adicional al INFyS necesaria para la estimación de carbono: ecuaciones alométricas de biomasa, valores de densidad de madera y fracciones de carbono
4. Ofrecer una estrategia para retroalimentar los datos existentes y avanzar hacia estimaciones más exactas, transparentes, exhaustivas, consistentes y comparables
5. Ofrecer métodos para la depuración de bases de datos forestales
6. Ofrecer una herramienta para la asignación automática de ecuaciones alométricas de biomasa a nivel de árbol compatible con los datos del INFyS
7. Presentar una clasificación o estratificación para reportar con la menor incertidumbre los reservorios de carbono y los cambios en los reservorios de carbono.
8. Ofrecer parámetros estadísticos para la estimación poblacional del carbono en la biomasa aérea y subterránea
9. Ofrecer alternativas de interpolación de datos forestales para la construcción de mapas de biomasa y carbono que sirvan como herramienta de validación visual
10. Presentar métodos para la estimación de las incertidumbres asociadas a las estimaciones de la reserva nacional de carbono en la biomasa
11. Desarrollar aplicaciones para la captura de datos, manejo y tratamiento de información, análisis, consulta y publicación de resultados

3.3. Alcance

1. Se aplica a bosques, selvas y matorrales según lo definido para México según INEGI (2007)
2. Cuenta con el INFyS como su principal fuente de información
3. Es compatible con las definiciones del IPCC
4. Con aplicación a escala nacional, y subnacional
5. Apoya el avance del mecanismo REDD+ en México
6. Escalable con la temporalidad de los datos del INFyS

7. Emplea ecuaciones alométricas de biomasa para la estimación de contenidos de carbono
8. Ofrece lineamientos para la implementación del método de cambios en las existencias de carbono del IPCC

3.4. Alineación con las directrices del IPCC 2006

Para la elaboración de los INEGI y las Comunicaciones Nacionales ante la UNFCCC, las estimaciones nacionales de los cambios en las reservas de carbono se guían por las directrices del IPCC. En el sector de agricultura, bosques y otros usos (AFOLU), el IPCC (2006) ofrece directrices para la cuantificación de los factores de emisión y absorción requeridos para completar la ecuación $DA * FE = \text{Emisiones/Absorciones CO}_2$, así como de árboles decisión para seleccionar método y el nivel (Tier) requerido para cada gas y depósito de carbono. El presente documento se apega a las definiciones del IPCC (2006) en cuanto a que:

1. Define los depósitos de carbono según las recomendaciones del IPCC (2006) en biomasa aérea, biomasa subterránea, mantillo orgánico, madera muerta y suelos
2. Se rige por los principios de reporte del IPCC (2006) transparencia, coherencia, compatibilidad, exhaustividad y exactitud para la estimación de las reservas de carbono en la biomasa aérea y subterránea
3. Fomenta estimaciones conservadoras, de las reservas de carbono
4. Identifica, documenta, estima e intenta reducir la incertidumbre asociada a las estimaciones del carbono forestal
5. Emplea procedimientos de control de calidad para asegurar la consistencia de la información
6. Emplea información nacional en la medida de lo posible para la estimación de las reservas de carbono
7. Hace uso de un sistema de información que permite la incorporación de información multi-escala con el fin de mejorar la incertidumbre de las estimaciones y aumentar la desagregación de la información que permita reportar a niveles (Tier) más altos
8. La estimación de los cambios en los reservorios de carbono está basado en un sistema de muestreo estadísticamente robusto y las unidades de muestreo están ubicadas a lo largo del territorio nacional
9. Implementa sistemas de información geográfica y un sistema de clasificación de los tipos de vegetación a nivel nacional (INEGI, 2007) que cubre la totalidad del territorio Mexicano
10. Emplea protocolos de levantamiento de información de campo que contienen elementos de control de calidad de la información y estrategias para reducir el error en la medición de los depósitos de carbono
11. Emplea métodos estadísticamente robustos y alineados con el diseño de muestreo del INFyS para llevar a cabo la inferencia estadística de los estimados de carbono en la biomasa aérea

Como áreas de oportunidad para incrementar el apego a las directrices del IPCC (2006) se identifican las siguientes:

1. Diseñar y utilizar un sistema de clasificación del territorio basado en las categorías de uso de suelo. El IPCC (2006) sugiere la división del territorio en tierras forestales, agrícolas, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras. Este reporte emplea una correspondencia con las categorías por cobertura definidas por INEGI (2007) para México. Varias Gerencias en CONAFOR colectan información espacialmente explícita, y en algunos casos anual, de perturbaciones como incendios, plagas y enfermedades y de las áreas bajo manejo forestal. Por ejemplo, la Gerencia de Desarrollo Forestal tiene una herramienta de colecta de datos de las áreas de manejo forestal, incluyendo su ubicación geográfica.
2. Incorporar los depósitos de carbono: hojarasca, madera muerta y materia orgánica del suelo, y alternativamente, productos maderables cosechados. El muestreo de estos depósitos no necesariamente ocurre en las 26,220 unidades de muestreo primarias del INFyS. Se desarrolla actualmente una estrategia en conjunto con el fortalecimiento de laboratorios para la obtención de información y su análisis para estos depósitos
3. La proporción de biomasa subterránea versus aérea se obtiene de Cairns et al. (1997). Idealmente debe generarse información nacional
4. Se han tomado medidas en el INFyS para asegurar la permanencia de las unidades de muestreo con el fin de obtener información de dinámica forestal y aumentar el poder estadístico de las estimaciones de crecimiento y mortalidad. Con los datos actuales no puede asegurarse un seguimiento de las mismas áreas de muestreo, ni los mismos árboles, en el INFyS

4. INSUMOS

4.1. Base de Datos para Monitoreo Forestal

4.1.1. Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS)

4.1.1.1. Procedimiento de obtención

La gerencia del Inventario Forestal y Geomática se encarga de administrar y dirigir todos los procesos involucrados con la captura de datos en campo del INFyS, cada año de un quinquenio se colecta información en aproximadamente un 20% del total de unidades de muestreo primarias (conglomerados). El INFyS comprende un total de 26,220 unidades de muestreo primarias (UMP) que se conforman por 81,665 unidades de muestreo secundarias (UMS) establecidas en el periodo 2004-2007. Tomando en cuenta todas las mediciones hasta el año 2013, se han contabilizado un total de 2,761,931 individuos leñosos mayores a 7.5 cm de diámetro normal en el INFyS.

Durante dicho periodo, fue necesario desarrollar un sistema de captura de información en Access 2000, basado en el diseño de la base de datos original, que facilitara el ingreso de la información de cada una de las secciones del formato impreso de captura en campo. Debido a las variaciones en el total de datos a recabar en el tiempo (años y ciclos) se desarrollaron versiones distintas de cliente de captura.

La información recabada en campo y registrada en los formatos fue capturada en archivos independientes por cada empresa proveedora para el levantamiento del INFyS. Una vez recibidos, revisados y aprobados los datos, la gerencia del Inventario Forestal y Geomática de la Comisión Nacional Forestal integra todos los archivos con los datos recolectados y los almacena en una sola base de datos (Access 2000), la cual posteriormente se transformó a una estructura de SQL Server.

El proceso correspondiente al registro de información por medio del cliente de captura que es responsabilidad de los proveedores o empresas encargadas de la recolección; se volvió poco eficiente debido a la revisión exhaustiva de la información, lo cual incrementó la duración del proceso, aunado al tiempo que CONAFOR invierte en integración en la base de datos anual correspondiente. Además, la falta de estandarización en la estructura de las distintas bases de datos anuales, requería cada vez mayor inversión de tiempo en su homologación.

Debido al proceso de ajustes y cambios realizados en la evolución del INFyS, se optó por crear una base de datos integradora que concentre la información recibida de todos los ciclos actuales y futuros del muestreo en campo del INFyS. Como parte del proceso, se avaluó la información contenida en las bases de datos y se encontraron algunas deficiencias al tener la información separada en distintas bases de datos:

1. Catálogos no estandarizados (claves diferentes, tablas con cambios en estructura y contenido).
2. Campos y tablas con nombres diferentes entre Bases de Datos.
3. Dificultad para mantener el histórico de la información.

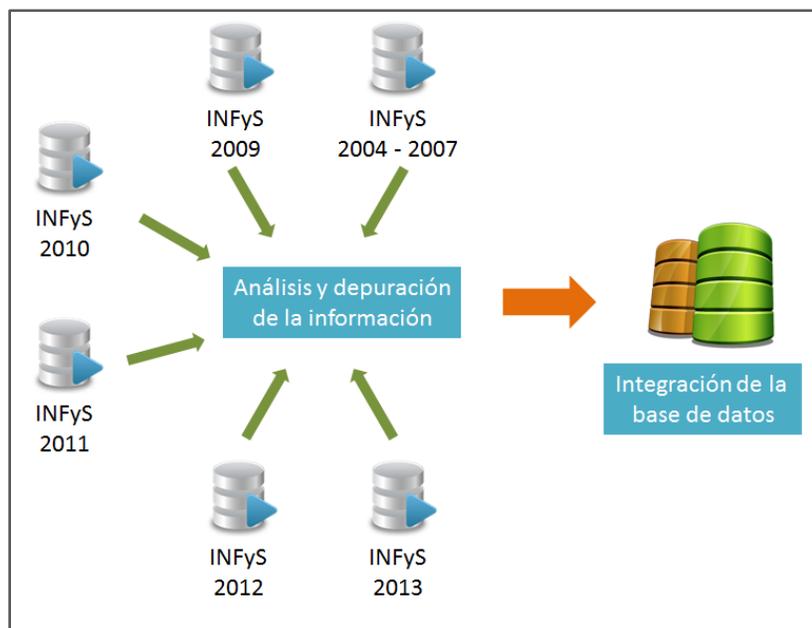
4. Ambigüedad en la información (campos binarios con diferentes significados entre BDs).
5. Consultas que incrementan su tamaño cada ciclo y por ende son difíciles de mantener.
6. Problemas de compatibilidad entre mapas de caracteres de las bases de datos (collation).
7. Diferencias ortográficas entre catálogos.

4.1.1.2. Descripción

Al comenzar con el segundo periodo de captura del INFyS en 2009 debido a que el diseño inicial de la estructura de la base de datos fue pensado para un único momento de captura de cada uno de los conglomerados, esta no permitía guardar nuevos datos y a su vez conservar los datos anteriores en la misma estructura (datos históricos), lo cual ocasionaría una pérdida de información. Por lo que se generaron bases de datos separadas correspondientes a cada año del segundo periodo.

Una vez que se realizó la evaluación de las bases de datos originales INFyS 2004 a 2007 y una para cada año desde el 2009 hasta el 2013 (INFyS 2009, INFyS 2010, INFyS 2011, INFyS 2012 e INFyS 2013), se concluyó en la necesidad de contar con una base de datos completamente integrada, que permita realizar estimaciones de las variables dasométricas y sus derivados a través del tiempo. Para este fin, se realizó el proceso de migración y normalización de las bases de datos origen en una sola base de datos llamada MuestreoNacional (figura 1).

Figura 1. Esquema de integración de bases de datos del INFyS.



El reto consistió en desarrollar una estructura de la base de datos que permitiera en primer lugar mantener los datos históricos de los distintos años y/o ciclos, así como ser capaz de contener la nueva información capturada (nuevos registros y modificación de los existentes) para de esta forma lograr una compatibilidad total de datos históricos y actuales.

Con el propósito de mantener el principio de compatibilidad, se ha tomado en cuenta en el proceso de este rediseño, la posibilidad de cambios futuros en la captura de información, para lo cual se generaron protocolos de cambios que permiten documentar modificaciones a la estructura de almacenamiento de la base de datos, con la finalidad de no perder la integridad de la información histórica.

Mediante el análisis de las principales oportunidades para mejorar la base de datos del INFyS, se acordó junto con la subgerencia de base de datos, diseñar una nueva estructura basada principalmente en la que ya existía y teniendo en cuenta las lecciones aprendidas de su uso y que permitiera generar reportes estandarizados entre los diferentes ciclos y años de captura, así como una visión futura para el desarrollo de un cliente de captura que permita la integración de la información con un mejor control, estandarizada y centralizada, pero principalmente un diseño que establezca las bases para los futuros ciclos del inventario.

A continuación se enlistan detalladamente los puntos importantes de funcionalidad y estructura de la nueva base de datos para el INFyS:

1. Capaz de almacenar todos los ciclos de colecta del Inventario Nacional Forestal y de Suelos conservando valores históricos de todas y cada una de las unidades de muestreo.
2. Suficientemente flexible para ajustarse a los cambios que puedan sufrir las secciones del INFyS.
3. Capaz de realizar consultas básicas y comparables con las ya existentes.
4. Permitir la comparación entre datos de diferentes periodos (registro histórico), sin la necesidad de obtener los resultados parciales de diferentes fuentes.
5. Seguir las mejores prácticas de base de datos, como algunas de las que se enlistan a continuación:
 - a. Normalización equilibrada
 - b. Integridad de datos
 - c. Indexación
 - d. Esquemas Entidad-Relación
 - e. Separación de Datos (intensivo/no intensivo)
 - f. Manejo de grandes volúmenes de información
 - g. Cumplir en lo posible las 12 reglas de Cood para las bases de datos relacional
6. Capacidad para interactuar con otras posibles tecnologías e incluso otros inventarios forestales existentes nacionales e internacionales.
7. Su transferencia de conocimiento mantenga la menor curva de aprendizaje posible.

Durante el proceso de conceptualización y diseño de la nueva estructura de la base de datos se sostuvieron pláticas con la Subgerencia de Base de Datos del INFyS durante el periodo comprendido de Mayo y Junio del 2012, con el propósito de identificar los contenidos y roles que juegan cada una de las tablas que se encuentran dentro de la base de datos actual.

Como principal resultado del proceso antes mencionado, se pudieron identificar 3 grupos de tablas con base al uso o rol que estas juegan dentro de sistema de captura de datos en los diferentes formatos y estas fueron las siguientes:

1. Las tablas que tiene un funcionamiento como catálogos dentro del INFyS, y que su información no cambia entre ciclos, y si existieran cambios sobre este tipo de tablas, consistirían en agregar más datos, su principal rol es ayudar a cumplir una de las reglas de normalización de una base de datos.
2. Las tablas centrales que son la base del sistema, ayudan a almacenar las unidades de muestreo primarias (UMP) y las unidades de muestreo secundarias (UMS) donde se toman las muestras de datos, teniendo en cuenta que teóricamente estos mismos puntos son re-medidos en un periodo de 5 años (CONAFOR 2012).
3. Y por último se identificó el grupo de aquellas tablas donde se almacenan las observaciones (variables) que se colectan en cada periodo de tiempo, es decir, las tablas que representan cada una de las secciones de los formatos de captura en campo.

4.1.1.3. Migración y depuración de la Base de Datos

4.1.1.3.1. Depuración de los catálogos

La estandarización, unificación y corrección de los catálogos es un paso importante hacia la buena presentación y la correcta interpretación de la información. Durante el proyecto se revisaron todos los catálogos utilizados por INFyS a través de los años. Entre los catálogos estandarizados, podemos encontrar forma biológica, especies, agentes dañinos, condiciones del levantamiento, vías de acceso, medios de transporte, etc. Posterior al análisis, se llevaron a cabo una serie de tareas con el fin de propiciar un correcto uso y entendimiento de los datos utilizados.

Se estandarizaron los nombres de los catálogos.

1. Escribiendo los nombres de las tablas en minúsculas.
2. Evitando el uso de preposiciones para la unión de palabras de los nombres de las tablas.
3. Usando guion bajo como alternativa al espacio para los nombres con más de una palabra.
4. Evitando usar abreviaturas.
5. No usando acentos.
6. Definiendo el nombre más adecuado con la información que almacena y su contexto.
7. Utilizando palabras en singular.

Se estandarizaron los nombres de los campos.

1. Escribiendo los nombres de los campos en minúsculas.
2. Utilizando guion bajo en lugar de espacio entre palabras.
3. Evitando usar preposiciones (por ejemplo las palabras de, para, con, y, o).
4. Evitando usar abreviaturas.

5. No usando acentos.

Se depuró el contenido de los catálogos.

1. Revisando y corrigiendo la ortografía cuando sea necesario.
2. Unificando los catálogos, en los casos que hayan sufrido cambios a través del tiempo.
3. Unificando las tablas, en los casos de que varios catálogos hagan referencia al mismo tipo de información.
4. Cotejando y adecuando la información de los catálogos contra los manuales del inventario de cada año.

Ejemplos de procedimientos realizados en algunos de los catálogos utilizados en el INFyS.

Depuración del catálogo de agentes dañinos

Entre los datos recabados se encuentra el daño o agente dañino, que es una variable que indica el daño potencial que ha sufrido el individuo y que lo impacte de tal modo que ponga en riesgo su supervivencia en más de uno o dos años o que disminuya su crecimiento a corto plazo o que afecte negativamente los productos comerciales que se obtienen de este.

Hasta el año 2011 los daños registrados al arbolado provenían del catálogo “CatDanio” con 12 tipos de daños posibles a registrar, mismo que en 2012 fue reemplazado por el catálogo “CatAgenteDanio” con 41 agentes dañinos mejor identificados y estructurados, pero, que para el año 2013 volvió a sufrir cambios, cómo eliminación de algunos agentes y la adición de otros agentes nuevos.

El PMN se dio a la tarea de estandarizar estos tres catálogos en uno solo que respete la nueva estructura y a su vez mantenga el histórico de los datos utilizados anteriormente. Para lo cual se intersecaron los tres catálogos manteniendo todos los tipos de daños, unificando los registros comunes entre ellos y agregando una bandera que permita identificar los daños que no son utilizados actualmente.

Depuración del catálogo taxonómico

La correcta identificación de las especies, géneros y familias es necesaria para la obtención de información de calidad sobre diversidad y un buen conocimiento de las especies que componen los ecosistemas forestales en el país. Para efectos de la estimación de carbono, la identificación correcta de las especies repercute directamente en la asignación de modelos alométricos de biomasa o volumen a nivel de especie o género. Identificaciones incorrectas causarán errores en la aplicación de los modelos alométricos y, por ende, aumentarán la incertidumbre de las estimaciones.

La CONAFOR llevó a cabo una depuración sobre su catálogo taxonómico, el cual se forma a partir de las colecciones de campo a nivel nacional en el INFyS. El dato de campo se ingresa en la base de

datos tal y como se digitaliza por la persona moral que lo recolectó. Existe una depuración de la taxonomía del INFyS para su reporte (i.e. para CONAFOR 2012), sin embargo, estas correcciones no se han incorporado formalmente a dicha base de datos.

Para el reporte del INFyS, la CONAFOR empleó algunas de las fuentes citadas abajo, que además se utilizan por el PMN para la depuración general de la taxonomía:

- CONABIO 2011. Revisión del Catálogo de Especies 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 (e.g. tipográficos, ortográficos, sinonimias). El resultado de esta revisión consiste en un catálogo de especies del INFyS y su equivalencia corregida (nombre aceptado). Esta versión incluye una revisión del Dr. José Luis Villaseñor, la cual incluye 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. Incluye una revisión de nombres para la detección de diversos tipos de errores (e.g. tipográficos, ortográficos, sinonimias). Incluye 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 el INFyS 2004-2010. Se incluye el nombre científico (idéntico al Catálogo del INFyS), el tipo de inconsistencia (e.g. 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. Bol.Soc.Bot.Mex. 75: 105-135. Insumo para los sistemas de clasificación utilizados para el Catálogo Taxonómico INFyS: helechos y afines (Mickel y Beitel, 1988 y Mickel (1992), gimnospermas (McVaugh, 1992), monocotiledóneas (Dahlgren et al., 1985), dicotiledóneas (Cronquist, 1981).

Migración de la información

Después de trabajar con los resultados del análisis se procede al diseño de la nueva estructura de la base de datos, utilizando el motor de base de datos Microsoft SQL Server 2008 R2. La justificación para la elección de este motor de bases de datos y sus características mejoradas, en comparación con la estructura existente, son las siguientes:

1. La principal razón se debe a la inercia institucional a este Sistema Administrador de Bases de Datos Relacionales (RDBMS por sus siglas en inglés) y por lo tanto, disminuir la curva de aprendizaje para los usuarios finales de la nueva estructura, al igual que seguir un estándar SQL y por su reconocimiento y estabilidad por muchos años, respaldado por una

empresa de talla internacional como es Microsoft y un excelente soporte de ayuda y herramientas administrativas.

2. Otra de las razones fue la posibilidad de crear agrupaciones lógicas para relacionar las tablas, esto tomando como referencia lo mencionado anteriormente de la identificación de los grupos de tablas según su contenido y/o funcionalidad dentro del sistema. El resultado son 3 “schemas”, los cuales se describen a continuación:
 - a. **Catálogos.** Conjunto de información contenida que se relaciona con una o varias tablas a partir de un identificador numérico, en este esquema se agrupan los catálogos existentes del INFyS como aquellos que fueron detectados en el rediseño siguiendo la naturaleza de los datos ya existentes.
 - b. **Sistema.** En este “schema” se tienen agrupadas las tablas que son la definición de las unidades de muestreo y sus principales características, aquellas que no se modifican a través del tiempo, y que son la base en la captura de los datos y diseño de la malla de muestreo, representando la columna vertebral del diseño de la base de datos.
 - c. **Satélites.** Dentro de lo que corresponde a este grupo se encuentran las tablas en las que se almacenan las características/variables colectadas en campo y que están relacionadas a las unidades muestreo en un cierto espacio de tiempo.

Paralelo al proceso de depuración de los catálogos se realizó a la migración de los datos contenidos en las bases de datos de INFyS a la base de datos destino “MuestreoNacional”. El proceso de migración y normalización de la información se realizó por el personal informático del PMN, con asesoría del personal técnico informático que mantiene las bases de datos en CONAFOR, el apoyo de los especialistas en inventarios forestales del PMN y CONAFOR, con el respaldo documental de los manuales de muestreo y re-muestreo de los años del INFyS.

Se crearon una serie de “store procedures” de SQL server (funciones pre-programadas) que de acuerdo a las lecciones aprendidas del INFyS transformaron e insertaron la información de las bases de datos originales, en la base de datos destino, bajo el nuevo modelo planteado de unidades de muestreo con jerarquía y cronología de los levantamientos.

Cada variable u observación registrada en INFyS fue procesada e insertada en su campo y tabla adecuados, dentro de la estructura propuesta de acuerdo al esquema que refleja los módulos documentados del INFyS y las particularidades de cada ciclo y año correspondiente.

4.1.1.4. Estructura de la Base de Datos

Se diseñó una estructura basada en levantamientos, jerarquía de unidades de muestreo y proyectos, que permite integrar otros inventarios y nuevas variables, además es compatible con las modificaciones estructurales a los inventarios durante los ciclos transcurridos. La nueva estructura, además tiene la capacidad de recibir nueva información, permitiendo cambios posteriores, por ejemplo en unidades muestrales, periodicidad del levantamiento de información y

se mantiene el histórico de la información. También fue necesario estandarizar y depurar la información de algunos catálogos que cambiaron con el tiempo y por último, se migró toda la información de las bases de datos del INFyS que era producto de las observaciones realizadas en campo.

La base de datos resultante consiste en tres esquemas, los cuales separan los bloques de datos que construyen toda la lógica del almacenamiento de la información (figura 2).

1. Esquema “Catalogos”

Este esquema contiene todos los elementos o criterios que de antemano son conocidos, para hacer referencia a ellos sin volver a escribirlos, algunas tablas o catálogos que componen el INFyS enlistan especies, agentes dañinos, estados, municipios, formas biológicas, cuencas, densidad de la madera, condiciones del sitio, tipos de medios de transporte, tipos de vías de acceso, etc.

2. Esquema “Sistema”

Es en este esquema, donde se localizan las tablas centrales de la base de datos, contiene las tablas que definen y agrupan la forma de las unidades de muestreo, la información espacial y la cronología de los inventarios.

La tabla **unidad_muestreo**, contiene información sobre las unidades muestrales que componen el/los inventarios. Es aquí donde se almacenan características de los conglomerados, sitios, y sub-sitios, además de su forma, jerarquía y herencia entre unidades. Es por esto que la base de datos es adaptable a cambios en la estructura o forma de los sitios de monitoreo.

La tabla **levantamiento** es donde se registra y administra el tiempo de ocurrencia de las visitas a campo, permitiendo conservar la secuencia de los muestreos y pudiendo con ello comparar los cambios entre periodos de tiempo de levantamientos. Es la tabla principal de la base de datos que ordena la información de las demás, entorno a ella, se lleva el registro cronológico de la captura de información, permite mantener datos homogéneos y de distintos periodos en un mismo conjunto.

3. Esquema “Satelites”

En el esquema “Satelites” es donde se registran los resultados de las mediciones y observaciones hechas en campo, es aquí donde se concentran casi todos los datos obtenidos del inventario, cómo mediciones del arbolado, mediciones del repoblado, cobertura y características del suelo, plagas y enfermedades, disturbios ambientales, vías de acceso al conglomerado, etc.

Una observación registrada en una tabla satélite, se relaciona con un levantamiento que fue hecho en un momento determinado y en un lugar (unidad de muestreo). Por ejemplo; las mediciones hechas a un árbol se registran en la tabla satélite llamada **caracteristica_arbolado**, dichas mediciones fueron tomadas en una fecha determinada (tabla levantamiento) y este levantamiento fue realizado dentro de una unidad de muestreo. Si se volvieran a tomar medidas al mismo árbol, se registrarían nuevas características del árbol en un periodo nuevo (levantamiento) hacia la misma unidad de muestreo.

Algunas de las características de la nueva estructura son:

1. Tiene la posibilidad de almacenar diferentes proyectos de la misma índole, lo que nos permitiría hacer comparaciones puntuales con datos tomados por diferentes fuentes en distintos periodos de tiempo pero que comparten una relación metodológica y conceptual. Algunos proyectos alternos del INFyS que pueden incluirse en esta estructura pueden ser la supervisión, los muestreos especiales y los inventarios estatales (figura 3).
2. Las modificaciones dentro del inventario como son los nuevos campos, modificaciones o exclusiones de variables de las secciones del formato de captura podrán ser más controladas y permitirían mantener siempre la compatibilidad de los datos, tanto históricos como futuros. Cabe mencionar que debe considerarse en cada cambio, si este es un cambio que influye en la *integridad física de los datos* o en la *integridad lógica de los datos*, y generar un protocolo definido de cambios así con las herramientas o procesos necesarios para la mitigación de errores.

Figura 2. Esquema de la estructura de la nueva base de datos con algunos ejemplos de tablas.

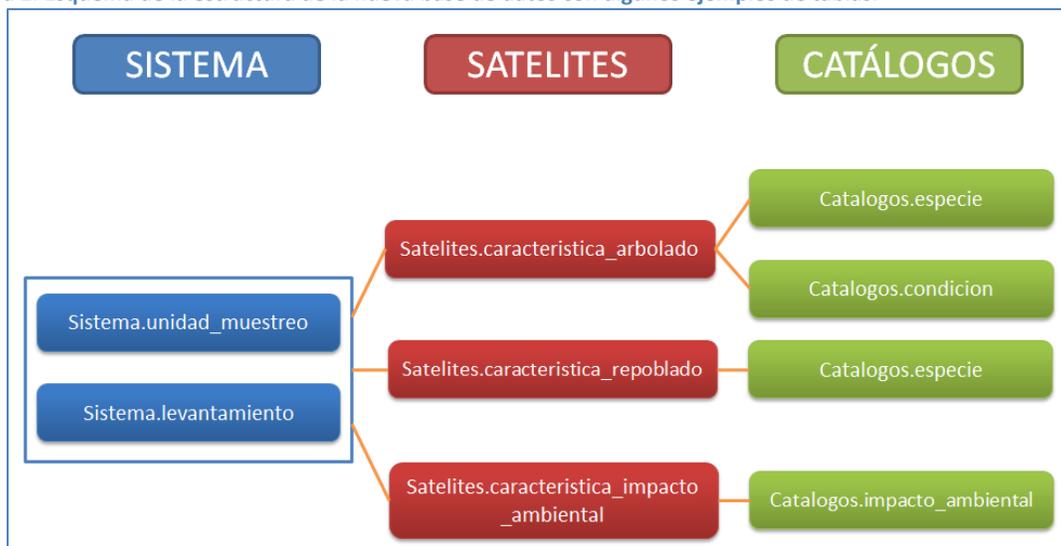
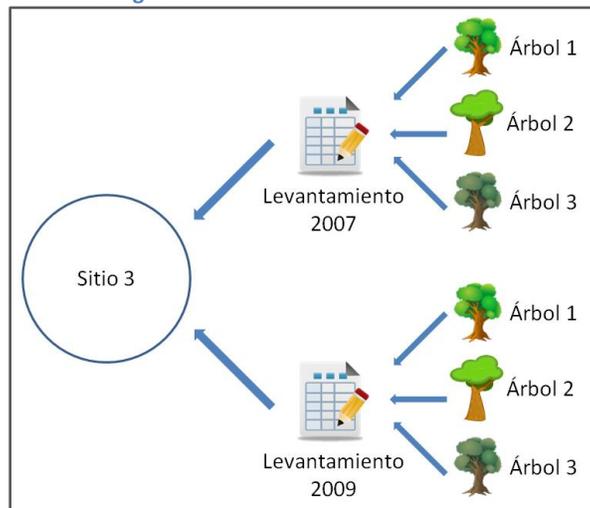


Figura 3. Esquema de la capacidad de integrar dos levantamientos hechos en el mismo sitio en diferentes años.



3. Es posible obtener y/o generar consultas de los dos ciclos en una sola vista sin recurrir a procesos extras para unificar la información de las diferentes fuentes, por lo que los resultados son homogéneos y no es necesario hacer trabajo extra para integrar estos informes.
4. Como regla general, una base de datos debe siempre mantener la integridad referencial, para agilizar consultas y mantener datos concisos, en esta nueva estructura se han generado índices según la frecuencia con la que se explota la información, esto es importante para agilizar el procesamiento de las consultas más comunes sobre las cuales se realizan los filtros más específicos (Separación de datos intensivo/no intensivo).
5. Existen algunos datos que se han depurado/consolidado sin perder las referencias originales obtenidas de las tablas de las que se extrajeron (integridad histórica); un ejemplo es el catálogo taxonómico, pues se han ido eliminando registros repetidos, errores de ortografía en los nombres de las especies, inclusión de sinónimos y generación de relaciones con tablas extras, el cual permite tener un catálogo taxonómico más completo y homologado, con un índice único para cada especie.
6. La nueva base de datos cuenta con nombres claros de tablas y campos, que permite al momento de leerlos inferir el tipo de información almacenado en ellos, procurando evitar los acrónimos en lo posible.
7. Todos los proyectos almacenados tienen la misma estructura general del INFyS y por lo tanto tienen el potencial de compartir el uso de las herramientas y/o algoritmos como lo es el sistema de estimación de biomasa y carbono a nivel nacional que se desarrolla a la par.

Ventajas y desventajas del nuevo diseño

En materia de tecnologías de la información (TI), los proyectos dividen su tiempo de vida en 20% para desarrollo y 80% para mantenimiento. Por lo que las principales ventajas son el tener todos los datos colectados en una sola fuente de información y una estructura que permite realizar cambios sobre sí misma.

Ventajas:

- Plataforma RDBMS que permite la integración con otras tecnologías existentes e incluso en el siguiente nivel de administración de base de datos.
- Un sistema de gestión de permisos completo y maduro comparado con la plataforma original.
- Disminuye la redundancia de datos
- Menor actualización al definir catálogos homogéneos.
- Protección de la integridad referencial (Llaves foráneas, e Índices)
- Manejo de grandes volúmenes de información.
- Consultas concurrentes.
- Integración en una sola fuente estandarizada.
- Posibilidad de inclusión de información congruente y proyectos similares como las supervisiones y los inventarios estatales.
- Permite generar controles de calidad de la información más precisos, basados en la información histórica contenida.
- Permite generar reportes oficiales de forma atemporal.
- Estrecho enlace con otras herramientas generadas por el proyecto que dan un valor agregado (ej. Estimación automática de carbono, Modeloteca)
- Diseño que permite la inclusión de nuevas secciones/variables de una forma más controlada y flexible sin perder el histórico.
- Diseño pensado en la inclusión de “n” ciclos del inventario (futuros) en la misma estructura conservando la información anterior disponible entre los diferentes ciclos con las mismas consultas diseñadas (queries, vistas y/o procedimientos).
- Comparación en tiempo real entre los diferentes ciclos del inventario, sin recurrir a procesos extras de unificación.
- Disminución de esfuerzo/horas-hombre en la inclusión de nuevos ciclos del inventario al no incrementar la complejidad en los sistemas y consultas diseñadas para la nueva información durante un periodo largo de tiempo.

Desventajas:

- Curva de adaptación al nuevo diseño y apropiación de la tecnología.
- Diseño de consultas más minuciosas al tener que definir puntualmente la información que se desea consultar, ya que toda coexiste en el mismo ambiente, por lo que las consultas aumentan su complejidad en contra de consultar solamente un año en una base de datos diseñada expreso para ese periodo de tiempo. *VENTAJA ASOCIADA: La complejidad de este*

proceso no aumentara más con el paso del tiempo, se mantiene exactamente igual y una vez salvado este proceso el conocimiento es constante para cualquier periodo de tiempo futuro, en contra de lo que sucedería en el otro esquema que aumenta su complejidad logarítmicamente en cada nuevo año nuevo información.

- Licenciamiento de MSSQL alto; si bien es un costo alto comparado con otras soluciones tecnológicas existentes de RDBMS existe la ventaja que la CONAFOR ya cuenta con el licenciamiento necesario; esto sin dejar de mencionar que el proyecto adquirió una licencia de MSSQL 2012.

4.1.2. Inventario de Suelos (caso especial)

4.1.2.1. Procedimiento de obtención

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en coordinación con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), gestionó el uso oficial de datos obtenidos por Institutos Gubernamentales y Académicos relacionados con las estimaciones de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) derivadas del carbono orgánico de los suelos minerales (COS) (Cuadro 1, Figura 4).

Cuadro 1. Número de sitios de muestreo con valores asociados a las estimaciones de emisiones de CO₂ en los suelos minerales por fuente de información.

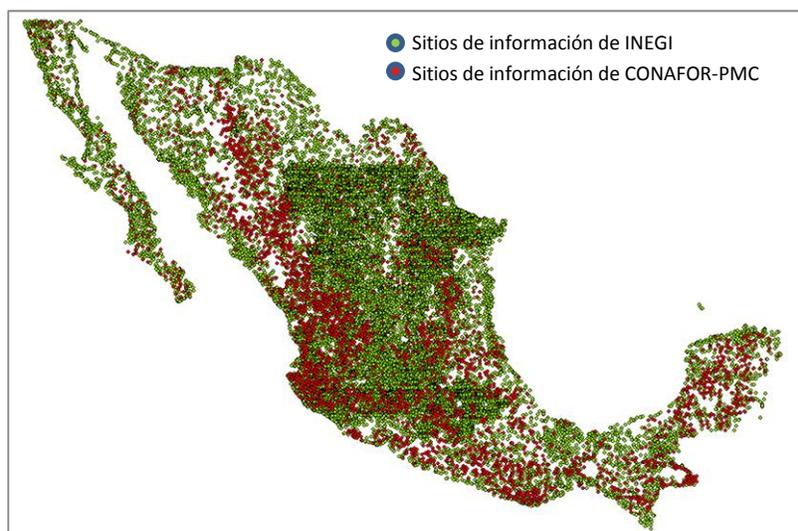
Fuente de información	Sitios de muestreo totales transferidos ^{/1}	Sitios de muestreo efectivos ^{/2}	Número de diseños de muestreo
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)	58,620	26,430	4
Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)-Colegio de Postgraduados (COLPOS)-Programa Mexicano del Carbono (PMC)	3,339	3,181	1
Total	61,959	29,611	5

/1 Total de sitios de muestreo de suelos con información de suelos. /2 Total de sitios de muestreo con información completa y congruente incluida en los procesos de estimación de emisiones de carbono en suelos minerales. Este valor no depende solo de la calidad de los datos sino también de la estabilidad de la vegetación en los sitios de muestreo.

4.1.1.1. Descripción

Existen cinco diseños de muestreos para el levantamiento de las muestras de suelo, de las cuales cuatro son realizados por INEGI y uno por la Comisión Nacional Forestal en coordinación con el Colegio de Postgraduados y el Programa Mexicano del Carbono.

Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo según fuente de la información.



4.1.1.1.1. Diseños de muestreo en INEGI

De manera general los cuatro diseños son nacionales, inicialmente estratificados a nivel de macro-región y que posteriormente son dirigidos a nivel de micro-región con base en la experiencia del especialista de suelos para encontrar los sitios más representativos (INEGI, 1982, 2001, 2010, 2013).

Excepto el levantamiento con fines de evaluación de erosión, que es sesgado hacia suelos con muy bajo contenido de carbono, todos los procedimientos en INEGI se realizan de acuerdo a las Bases Referenciales Internacionales de Suelos, en los que la unidad de estudio más detallada siempre es el horizonte de diagnóstico o capa de suelo (FAO-UNESCO 1968, IUSS-WRB-FAO 1998-2006-2014). También debe mencionarse la coherencia espacial y temporal de los resultados de laboratorio en INEGI, en especial el empleo permanente de la técnica Walkley Black para determinar el carbono orgánico (Gardi et al, 2013).

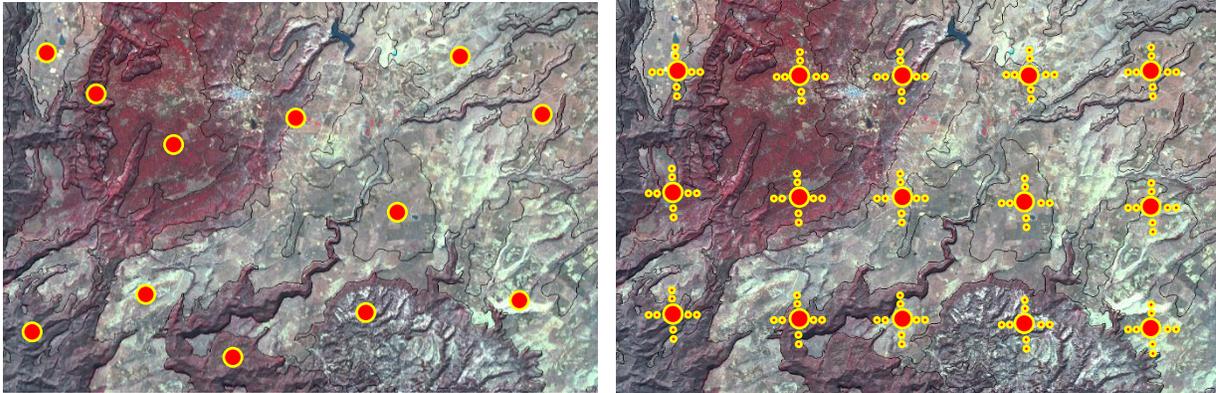
Los sitios de muestreo en INEGI están distribuidos en el territorio de tal modo que representan significativamente los tres principales grupos de uso de suelo y vegetación: Pastizales (44.0%), Tierras agrícolas (30.1%) y Tierras forestales (25.9%).

La principal ventaja de los datos en INEGI es su representatividad nacional. La principal desventaja es que no son sitios de muestreo multi-temporal y que algunas variables importantes son cualitativas.

4.1.1.1.2. Diseño de muestreo en CONAFOR-COLPOS-PMC

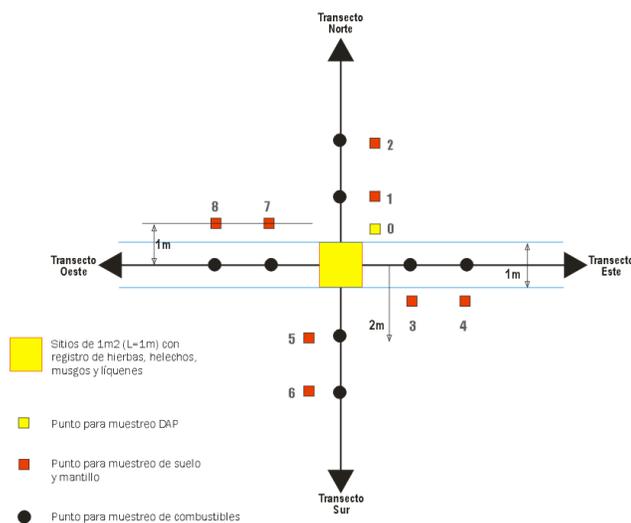
El diseño del muestreo es de tipo sistemático estratificado por conglomerados en dos etapas (Figura 5), la base de distanciamiento mínimo entre conglomerados permanece cada 5 kilómetros para los ecosistemas de bosques, selvas altas y medianas, vegetación de galería y palmares. Para las selvas bajas y comunidades subacuáticas es cada 10 kilómetros. Para las comunidades áridas, semiáridas es de 20 kilómetros (CONAFOR, 2009).

Figura 5. Esquema general del diseño de muestreo dirigido de INEGI (izquierda) y del muestreo sistemático de CONAFOR-COLPOS-PMC (derecha).



A nivel de conglomerado se sigue un protocolo de muestreo constante que incluye el levantamiento de una muestra para análisis gravimétrico de carbono, y de ocho muestras de suelo mineral en dos niveles de profundidad, de cero a treinta centímetros y de treinta a sesenta centímetros (Figura 6) para la evaluación de su variabilidad espacial (CONAFOR, 2009). El análisis de cambios a cada dos metros de distanciamiento permite detectar diferencias muy finas en las propiedades físicas y bioquímicas entre las muestras de suelo.

Figura 6. Esquema general del diseño de muestreo al interior del conglomerado del INFyS.



El área efectiva de muestreo de suelos 2009-2012 fue de 50 m² e incluyó también el levantamiento de ocho muestras de hojarasca fresca y/o capa de fermentación (material vegetal con procesos avanzados de mineralización).

El análisis físico químico de las muestras lo realiza el Colegio de Posgraduados en conjunto con el Programa Mexicano del Carbono para un total cercano a las 90 mil muestras de suelo mineral correspondientes a 11,255 conglomerados de estudio.

Los sitios de muestreo del INFyS están orientados a Tierras forestales (87.0%) y algunos ecosistemas de Pradera (9.2%). Únicamente el 3.7% se localiza en zonas agrícolas o en otras tierras.

La principal ventaja de la colecta CONAFOR es que el objetivo de su protocolo de muestreo está dirigido específicamente a caracterizar la dinámica del carbono en los sitios de muestreo.

Este levantamiento es totalmente cuantitativo (valores de peso en seco para estimar la densidad aparente y la pedregosidad interna del suelo) y por tanto es útil para calibrar otros inventarios parcialmente cualitativos. Además está diseñado para una colecta multi-temporal. Otros detalles relacionados con los diseños de muestreo de este estudio se encuentran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de muestreo de suelos según diseño de muestreo específico en los levantamientos de INEGI y CONAFOR-COLPOS-PMC.

	Serie1-250/ ¹	Serie2-250/ ²	Serie 50/ ³	Serie Ero/ ⁴	Serie CCP/ ⁵
Periodo de estudio (intervalo)	1969-2001	1999-2010	1969-1982	2009-2013	2009-2012
Observaciones con valor de carbono	5,987	2,805	15,166	2,472	3,061
Serie II* 1968-1999	5,840	62	15,166	0	0
Serie III* 2000-2004	147	1,900	0	0	0
Serie IV* 2005-2009	0	843	0	229	2,007
Serie V* 2010-2013	0	0	0	2,243	1,054
Tamaño promedio del polígono (km ²)	30.07	28.84	2.46	48.80	Sin mapa base
Cubrimiento nacional según zonas 1:50,000	93.63%	82.29%	32.29%	61.72%	58.81%**
Distanciamiento promedio entre sitios (km)***	5.06	6.88	2.88	8.56	14.72
Densidad de sitios (sitios/1000 km ²)	3.07	1.44	7.79	1.27	1.57*
Remuestreo de los sitios de estudio	No	No	No	No	Sí
Espaciamiento de repeticiones	No	No	No	No	2 metros

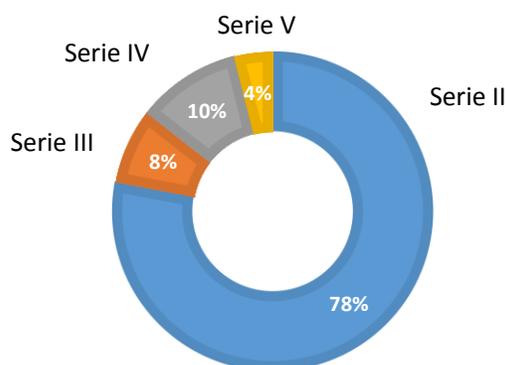
^{1/234} Levantamientos efectuados por INEGI. ⁵ Levantamiento efectuado por CONAFOR-COLPOS-PMC (CCP). *El intervalo de fecha está basado en la fecha real de los insumos satelitales empleados para elaborar la cartografía de uso de suelo y vegetación de INEGI. **Para el levantamiento CCP únicamente se consideran los sitios de muestreo recibidos hasta el momento. El levantamiento completo contiene aproximadamente tres veces más información.

4.1.1.1.3. Variables del suelo registradas:

4.1.1.1.3.1. Fecha del levantamiento

Este dato es necesario para relacionar la información de carbono en el suelo con la información del uso de suelo y vegetación existente en la serie cartográfica más próxima a la fecha del levantamiento (figura 7). La información relacionada con el estudio del carbono se obtuvo de forma más abundante antes del año 2000 y con mayor precisión a partir de 2009.

Figura 7. Frecuencia relativa de los levantamientos de suelos según series cartográficas de uso del suelo y vegetación de INEGI.



4.1.1.1.3.2. Profundidad de muestreo (Pm)

Los lineamientos establecidos en la Guía de Buenas Prácticas (IPCC, 2003) marcan que el estudio debe efectuarse en los primeros 30 centímetros de profundidad del suelo debido a que en este intervalo la dinámica y concentración de carbono es mucho más intensa que a mayores profundidades. Además de que, en la mayoría de los países no se cuenta con sistemas de información suficientemente desarrollados para realizar las estimaciones a mayor profundidad.

En el caso de INEGI, el valor de profundidad es bastante preciso porque considera el cambio en la intensidad del carbono en cada cambio de horizonte o capa de información. CONAFOR no separa el espesor de cada horizonte pero esto se compensa con el uso de un cilindro de dimensiones y profundidad estandarizada (largo 30 cm, ancho 10.2 cm), que hace las veces de una muestra compuesta en todos los cambios de intensidad de carbono entre cero y hasta treinta centímetros de profundidad (figura 8).

Ambos levantamientos consideran las limitantes físicas como topes de profundidad en los casos que los cilindros o la profundidad de los horizontes no alcance los treinta centímetros. La profundidad es siempre una variable levantada directamente en campo.

Figura 8. Esquema de muestreo en un suelo de acuerdo con los diseños de muestreo de INEGI y de CONAFOR-COLPOS-PMC



4.1.1.1.3.3. Concentración del carbono orgánico (COS)

Es el carbono orgánico del suelo expresado en términos porcentuales, sus valores extremos considerados en la base de datos van desde 0.0% hasta 41.9%. La concentración del carbono es un valor obtenido directamente del análisis de la muestra de suelo en laboratorio.

Existen dos técnicas cuantitativas empleadas en los análisis de carbono orgánico de las muestras de suelo consideradas en este estudio.

La primera técnica es Walkley-Black y es un método de oxidación en húmedo que mide el CO₂ desprendido y es efectuado por INEGI (IUSS-WRB-FAO, 2014).

La segunda técnica es por combustión total en horno a alta temperatura (con catalizadores) donde se mide el CO₂ desprendido. Este método es el de mayor precisión en la actualidad y es efectuado en COLPOS-PMC.

4.1.1.1.3.4. Pedregosidad interna (PI)

Es la cantidad de partículas de suelo con diámetro mayor a 2 milímetros y que representa la fase inactiva de carbono orgánico en el suelo. El complemento de la pedregosidad es la tierra fina sobre la cual se realizan todas las estimaciones sobre el almacén de carbono. Esta variable fue cualitativa hasta el año 2009 en los levantamientos de suelos de INEGI y se obtenía solo por estimación visual del volumen de piedras y guijarros en el perfil, y por la percepción de la cantidad de gravas durante la evaluación de textura al tacto. En estos casos se consideraba el valor medio del intervalo de pedregosidad estimado por el especialista de suelos en campo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Intervalos de pedregosidad interna considerados por INEGI y el volumen promedio de considerado para efectos de este estudio.

Cantidad	Intervalo del Volumen	Volumen Promedio
Muy Escasas	Menos de 5%	3%
Escasas	5 a 15%	10%
Frecuentes	15 a 40%	28%
Abundantes	40 a 80%	60%
Dominantes	Más de 80%	90%

Nota: El volumen promedio es equivalente del valor frag, de la Ecuación 3.2.16 indicada en la Orientación de las Guías de Buenas Prácticas (IPCC, 2003) para el sector CUTS.

Para el caso de los valores obtenidos en el levantamiento de CONAFOR-COLPOS-PMC todos los valores de pedregosidad son obtenidos mediante la ecuación 1:

$$\text{Pedregosidad interna} = \text{Peso seco de la fracción gruesa} / \text{Peso seco de la fracción total.} \quad (\text{Ec 1.})$$

El porcentaje de carbono orgánico y la pedregosidad interna son las variables con mayor³ efecto en la certidumbre de las estimaciones de almacenes de carbono en el suelo, debido a que la magnitud de sus variaciones es más amplia que las magnitudes de las variaciones en la profundidad y la densidad aparente (Inédito, 2014). (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedios nacionales, desviaciones estándar y porcentajes de variación observadas en las propiedades del suelo relacionadas con el cálculo del peso seco del carbono orgánico en suelos minerales.

Variable	Unidad de Medida	Promedio Nacional	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)
Profundidad	Centímetros	26.52	6.19	23.3
Pedregosidad interna	Porcentaje del Peso Seco	29.09	15.49	53.2
Densidad Aparente	Toneladas por Metro Cúbico	1.22	0.09	7.4
Carbono Orgánico	Porcentaje de Peso Seco	1.67	1.74	104.2

Nota: Los valores corresponden a un total de 20,635 observaciones. En algunas zonas de estudio la profundidad puede registrar variaciones más significativas que la pedregosidad interna cuando el análisis de los datos se efectúa hasta 100 cm de profundidad.

4.1.1.1.3.5. Densidad aparente (DA)

Es la relación entre el volumen y el peso seco del suelo. Es importante para llevar los valores no dimensionales de la intensidad del carbono a términos de peso de carbono. Es la variable más difícil de determinar puesto que requiere equipo, tiempo y cuidado adicional durante los levantamientos de suelos.

Para el caso de los perfiles de suelo levantados por INEGI a partir de 2013 se realiza con anillos de metal enterrados por cada horizonte o capa de suelo muestreada. Para las muestras de INEGI levantadas antes de 2013 la estimación de la densidad aparente se realiza con los datos de campo, específicamente de textura al tacto y estructura (Cuadro 5). (FAO 2006).

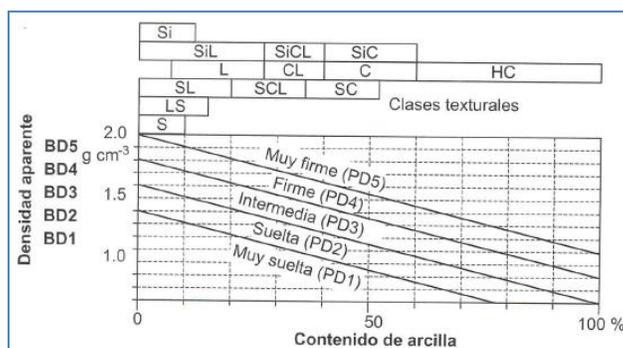
Cuadro 5. Estimación en campo de la densidad aparente en suelos minerales.

Observación	Estructura	DA (ton. m ³)
Suelos arenosos, limosos y francos con bajo contenido de arcilla	Granular	< 0.9
Muchos poros. Materiales húmedos se sueltan rápidamente de la barrena. Suelos minerales con propiedades ándicas	Granular	< 0.9
La muestra se desintegra al momento del muestreo	Granular	0.9-1.2
La muestra se desintegra en fragmentos después de la aplicación de fuerza leve. Consistencia friable	Granular, subangular, bloque angular	1.2-1.4
El cuchillo puede ser introducido dentro del suelo con poca fuerza. La muestra se desintegra en pocos fragmentos, los cuales aún pueden ser divididos	Bloques angulares y subangulares, prismática y laminar	1.4-1.6
El cuchillo solo penetra de 1 a 2 cm dentro del suelo húmedo. Se requiere de algo de esfuerzo. La muestra se desintegra en pocos fragmentos los cuales no pueden ser subdivididos	Prismática, laminar y bloque angular	1.6-1.8
Se requiere de gran fuerza para introducir el cuchillo dentro del suelo. La muestra no puede ser desintegrada posteriormente	Prismática	>1.8
Suelos francos con alto contenido de arcilla o suelos arcillosos	Prismática	>1.8
Cuando se le deja caer, la muestra se desintegra en numerosos fragmentos que se desintegran posteriormente en sub-fragmentos después de la aplicación de fuerza leve	Bloques angulares	1.0-1.2
Cuando se le deja caer, la muestra se desintegra en numerosos fragmentos que se desintegran posteriormente en sub-fragmentos después de la aplicación de fuerza media	Bloques angulares, prismática, laminar y columnar	1.2-1.4
Cuando se deja caer, la muestra se mantiene mayormente intacta. Mayor desintegración es posible si se aplica gran fuerza	Coherente, prismática, laminar, columnar, bloques angulares, laminar, forma de cuña	1.4-1.6
Cuando se deja caer, la muestra se mantiene intacta, no se puede lograr mayor desintegración, aun si se aplica una fuerza muy grande	Coherente, prismática, laminar, columnar, bloques angulares, laminar, forma de cuña	>1.6

Nota: Si la materia orgánica es mayor de 2%, la densidad aparente debe ser reducida por 0.03 ton.m⁻³ por cada 1% de incremento en el contenido de materia orgánica.

Esta evaluación se corrige a través de un nomograma donde se incluyen otras variables cuantitativas tales como el contenido de arcilla, clase textural e intensidad del carbono orgánico. (Figura 9). (FAO, 2006).

Figura 9. Calificación de la densidad aparente.



Nota: Las clases texturales corresponden al triángulo textural internacional: C (arcilla), Si (arena), L (limo). Los códigos BD indican el intervalo de la densidad aparente más aproximado: BD1 (>0.9 – 1.2 ton.m⁻³), BD2 (1.2 – 1.4 ton.m⁻³), BD3 (1.4 – 1.6 ton.m⁻³), BD4 (1.6 – 1.8 ton.m⁻³) y BD5 (> 1.8 ton.m⁻³). PD es la consistencia del terrón de suelo.

De acuerdo con este nomograma el supuesto teórico para el caso de los estudios de INEGI donde no se ha obtenido esta variable indica que los valores de densidad aparente más altos ocurren en los suelos con más de 80% de arena, o que tienen consistencias duras a extremadamente duras en seco (muy difíciles de romper), o que contienen mayor cantidad de sodio o en los suelos con estructuras de forma laminar, prismática o de columnas fuertemente desarrolladas (FAO, 2006).

Por el contrario, los valores más bajos de densidad aparente se han encontrado en las capas suelos con altos contenidos de carbono (mayor de 8%), en especial de aquellos suelos con alta relación carbono:nitrógeno (mayor de 60:1) y en suelos con mayor proporción de minerales de baja densidad (pómez o talcos de yeso) (Krasilnikov *et al*, 2011).

4.1.1.2. Control de Calidad

El primer criterio de selección consiste en filtrar la información de muestras de suelos con datos completos y congruentes. Son segregados todos los perfiles y barrenaciones de suelo que no cuenten con valores de profundidad, carbono orgánico, fecha de levantamiento o posición espacial.

Un segundo criterio de selección consiste en verificar que la información contenga al menos tres elementos básicos para estimar la densidad aparente en las muestras de suelo. Estos elementos pueden ser: textura, estructura, consistencia en seco, nivel de sodio y tipo de suelo.

Para el caso de la información obtenida por CONAFOR-COLPOS-PMC se revisó la congruencia entre los resultados de los análisis de suelos y los resultados de las siguientes variables que caracterizan la vegetación: altura y densidad de arbolado, ancho del dosel del arbolado, cobertura de suelo por árboles y arbustos, cobertura de herbáceas, cantidad de combustibles y color por espectrofotómetro (Cuadro 6). Esto con el fin de detectar valores extremos e incongruentes y evaluar su depuración.

Cuadro 6. Análisis de correlación de datos de carbono y parámetros de campo obtenidos en el inventario Nacional Forestal y de Suelos 2009-2012.

Tipoc	Observ	Min_Toc	Max_Toc	Ave_Toc	Ave_Max_AR	Ave_Di1	Ave_Sum_Di1	Ave_HO	Ave_Sum_Do	Ave_L
A	922	0.0	1.0	0.6	17.7	4.1	93.6	158.4	16.9	54.7
B	2250	1.0	3.0	1.9	21.9	4.0	111.5	206.5	26.8	49.1
C	1173	3.0	5.0	3.9	24.8	3.7	120.5	257.1	30.0	42.3
D	1242	5.0	11.0	7.2	29.1	3.4	136.9	368.0	34.8	35.4
E	421	11.0	21.0	14.7	31.4	3.1	119.7	426.6	39.9	30.4
F	126	21.1	45.7	27.7	39.1	2.8	160.0	561.4	48.3	27.6
Tendencia lineal de la variable TOC					0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.8
Tendencia cuadrática de la variable TOC					1.0	1.0	0.7	1.0	0.9	1.0

Tipoc- intervalo de carbono. Observ- número de muestras. Min_Toc- valor mínimo de carbono toc. Max_Toc- valor máximo de carbono toc. Ave_Toc- valor promedio de carbono toc. Ave_Max_AR- promedio de árboles totales en el sitio. Ave_Di1- promedio del diámetro de copa en el sitio (solo árboles con diámetro normal > 7.5cm). Ave_Sum_Di1- promedio de la suma total de los diámetros de copa en el sitio (solo árboles con diámetro normal > 7.5cm). Ave_HO- promedio de la suma de combustibles menores (1 a 100 horas) en el sitio. Ave_Sum_Do- promedio de la suma del dosel encontrado en el sitio en los transectos de los suelos. Ave_L- promedio de matiz del color (0= negro absoluto, 100= blanco absoluto).

Es importante mencionar que el caso de la fuente de información denominada Erosión-250 fue separada de este estudio por dos razones: a) la profundidad máxima de muestreo en promedio es de 12 centímetros y no existe forma de diferenciar los casos donde la profundidad se deba al equipo específico empleado (cilindro) o a la presencia de alguna limitante física en el suelo. Debido a la falta de comparabilidad se decidió excluirla del análisis.

Un tercer filtro consistió en seleccionar únicamente los sitios sin cambios de uso de suelo o vegetación de acuerdo con el archivo generado para calcular la matriz de cambio. Este proceso fue la principal causa de reducción de incertidumbre en las estimaciones.

En términos generales, se procesó información sobre un total inicial de 61,959 sitios de muestreo de los cuales, después del proceso de depuración, resultó en 20,514 (33.1%) sitios con información completa, congruente y que es aplicable a los procesos de cálculo para este estudio.

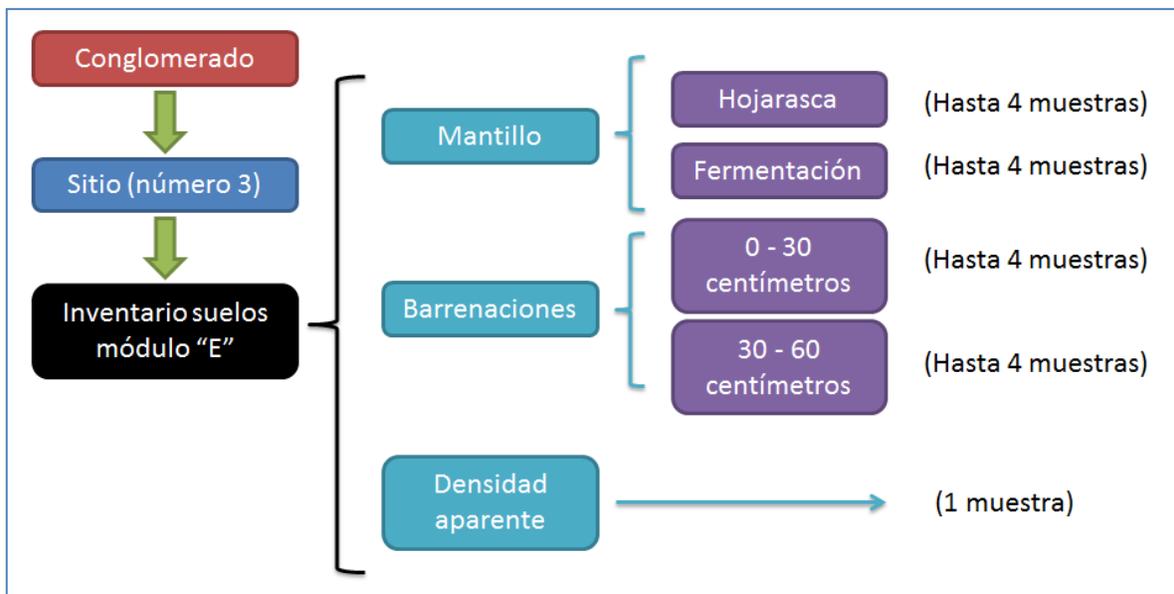
4.1.1.4. Estructura de la Base de Datos

Uno de los principales retos del re-muestreo de suelos 2015-2019 es obtener información de variables de estudio que se apliquen en los campos de la conservación y restauración de suelos, el manejo de plantaciones forestales, el monitoreo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el monitoreo de sequías y en las acciones de mitigación de la desertificación, el control de incendios, la caracterización de cambios de origen antropogénicos y en la calibración de diversos muestreos o procesos analíticos de evaluación del suelo.

De acuerdo a FAO (2006) la descripción del suelo sirve para realizar interpretaciones sobre la génesis y funciones medioambientales del suelo y con esto diseñar sistemas de uso de la tierra y prácticas de manejo de los suelos apropiadas que permitan prevenir su degradación y rehabilitar su potencial, así como para lograr un mejor entendimiento del medio ambiente.

Paralelo a la reingeniería del INFyS de 2015, se re-incorporaron al inventario de suelos variables que se habían dejado de utilizar en los años 2013 y 2014, y se plantearon los criterios de colecta y control de calidad para el análisis de esas muestras del suelo. En colaboración con personal del PMN e INEGI se diseñó la estructura de base de datos para gestionar la información de las muestras tomadas en campo y los resultados obtenidos de los análisis en laboratorio (Figura 10).

Figura 10. Organización del Inventario para Suelos

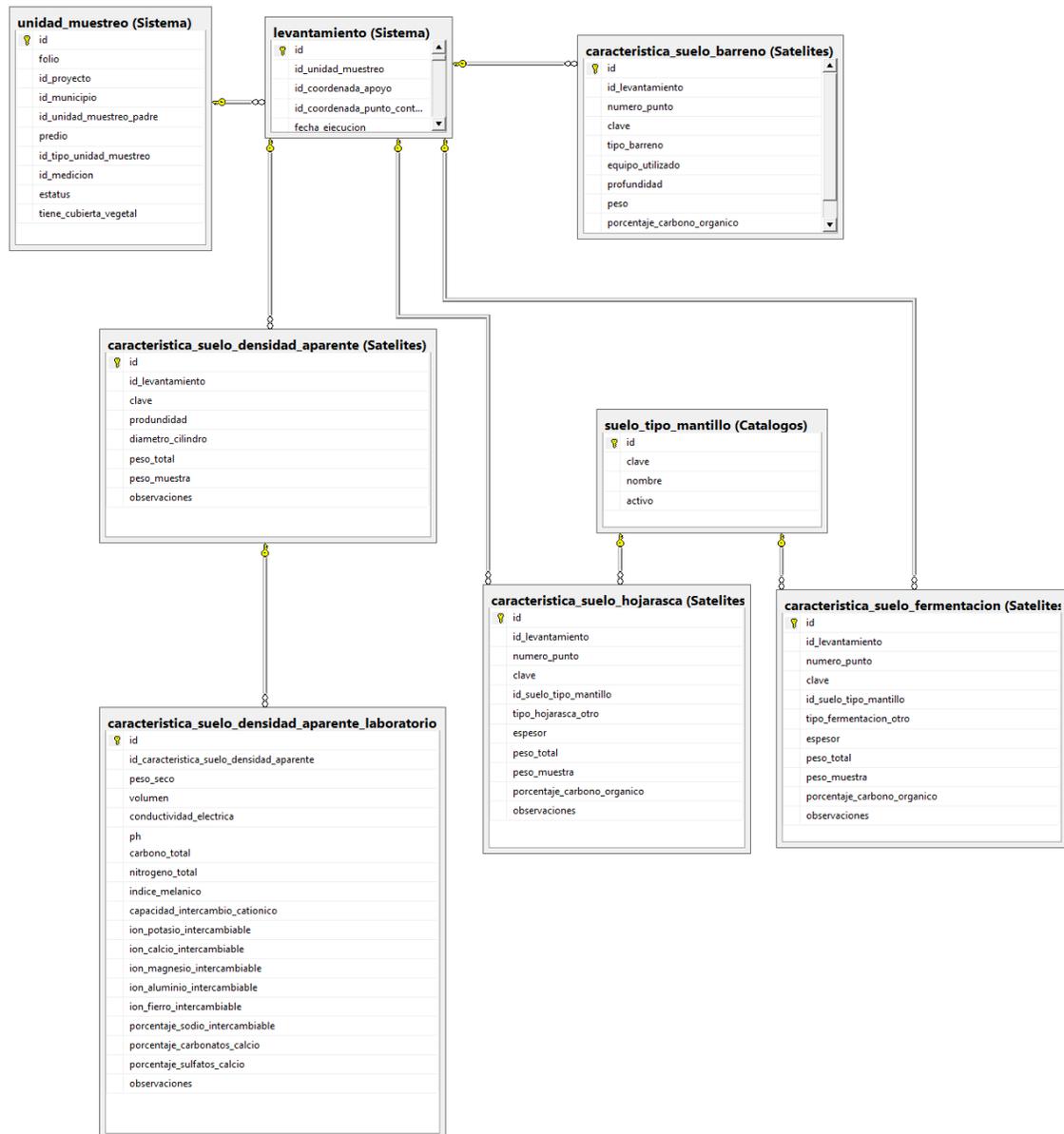


La estructura, que ya está generada e integrada a la base de datos del INFyS contempla 4 tablas satélites que se ligan a la unidad de muestreo de la cual se tomaron (Figura 11):

- Características del mantillo
- Características de la hojarasca
- Características de las barrenaciones
- Características del barreno de densidad aparente

Con la asesoría de personal del INEGI, se acordó que las muestras de mantillo, hojarasca, las barrenaciones de 0 a 30 cm y 30 a 60 cm enviarán a laboratorio y se analizará el carbono orgánico de cada una, para la muestra de densidad aparente, se obtendrán los valores de salinidad y carbonatos, cuyas variables se muestran en el Cuadro 7.

Figura 11. Diagrama entidad – relación de la estructura de almacenamiento de la información de suelos



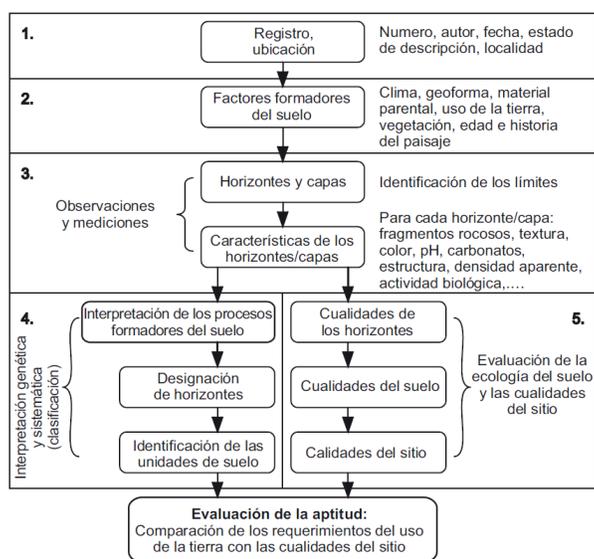
Cuadro 7. Determinaciones de Salinidad y Carbonatos en muestras de suelos.

Variable	Determinaciones
Salinidad (extracto de saturación)	pH
	Conductividad eléctrica
	Cationes solubles (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{1+} , K^{1+})
	Aniones solubles (Cl^{1-} , CO_3^{2-} , HCO_3^{1-})
	Anión soluble (SO_4^{2-})
Carbonatos	Carbonatos totales

4.1.1.5. Almacenamiento

Así mismo, se incorporó a la base de datos la capacidad de almacenar las variables de perfil de suelos, usando las técnicas de descripción sugeridas por INEGI. Esta técnica describe los diferentes horizontes del suelo en la ubicación dada, tomando en cuenta características externas que pueden ser apreciadas en campo, como geoforma, material parental, uso de la tierra, vegetación, edad e historia del paisaje y otras características del relieve (Figura 12).

Figura 12. Proceso de descripción del suelo, clasificación, calidad del sitio y evaluación de aptitud.



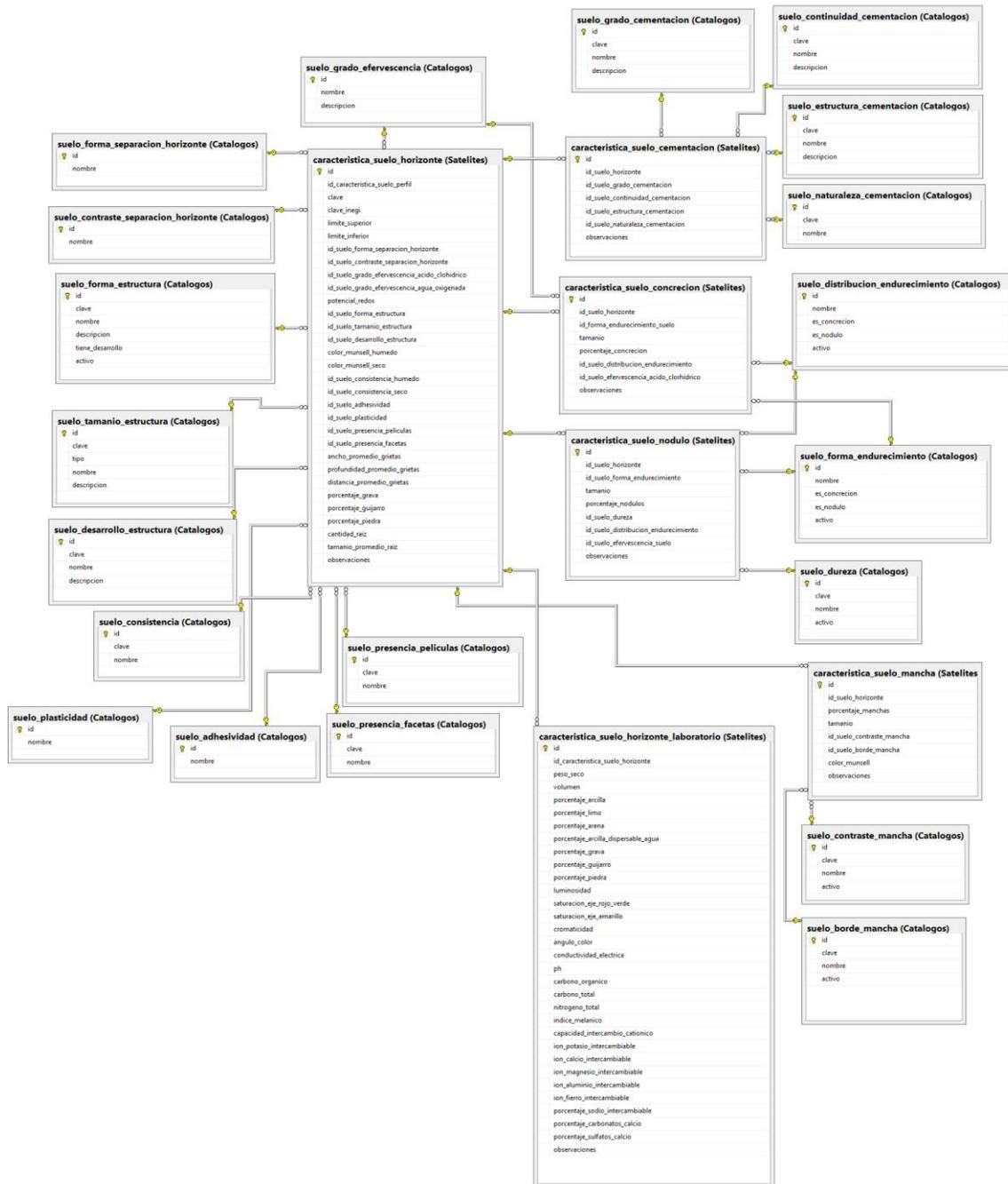
Para incorporar estas nuevas variables a la base de datos del INFyS se requirió la asesoría de expertos en edafología del INEGI y fuentes bibliográficas como el manual World Reference Base for Soil Resources 2014 de FAO. Se revisaron y clasificaron minuciosamente de cada una de las 90 variables cualitativas y cuantitativas, así como 50 catálogos que forman la descripción del suelo, analizando su naturaleza, tipo de dato esperado, sitio del registro y método (campo o laboratorio) y en caso de requerirlo, los catálogos asociados a dicha variable (Figuras 13 y 14).

Pasos para el proceso de descripción de los suelos FAO (2009)

Figura 13. Diagrama entidad - relación estructura almacenamiento de las variables del perfil



Figura 14. Diagrama entidad - relación estructura almacenamiento de las variables del horizonte



4.1.1.6. Base de Datos Final (Salida)

Se generaron dos bases de datos:

- a) una base completa con todos los valores de las variables que están involucradas directamente en las estimaciones.
- b) una base resumida con los almacenes de carbono y el uso del suelo y vegetación más preciso a la fecha de levantamiento de la información en campo (Cuadro 8).

Esta última es la base de datos empleada en el cálculo de las estimaciones finales. Para el caso de la base de datos de CONAFOR-COLPOS-PMC los datos estarán agrupados hasta concluir la fase final de la etapa de laboratorio.

Cuadro 8. Aspecto de la tabla de atributos de la base de datos resumida.

IDENT	FECHA	COST	SERIE	N_IPCC	IPCC_M	PFNOM
60	2010	82.074	CONAF_0912	1	P	Matorral Xerófilo Leñoso Primario
64	2009	16.369	CONAF_0912	1	P	Matorral Xerófilo Leñoso Primario
141	2009	4.587	CONAF_0912	2	S	Especial Otros Tipos Leñoso Secundario
146	2009	99.864	CONAF_0912	1	P	Matorral Xerófilo Leñoso Primario
1889	2009	32.204	CONAF_0912	3	PRAD	Matorral Xerófilo No Leñoso Primario
1909	2009	2.914	CONAF_0912	1	P	Matorral Xerófilo Leñoso Primario
1924	2009	6.819	CONAF_0912	3	PRAD	Matorral Xerófilo No Leñoso Primario
1944	2009	3.743	CONAF_0912	3	PRAD	Matorral Xerófilo No Leñoso Primario
2347	2009	2.613	CONAF_0912	4	AGR_AN	Agrícola Anual
2391	2009	38.225	CONAF_0912	1	P	Bosque de Coníferas Primario

4.2. Base de Datos Adicionales para el Proceso de Estimación

4.2.1. Modelos Alométricos

Los modelos alométricos (MA) son ecuaciones matemáticas que permiten estimar volumen, biomasa o carbono de un individuo, en función la dimensión de algunas de sus partes tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (dap) y/o la altura total, correlacionados con el tamaño total del individuo.

Contar con una base de datos de MA a nivel nacional es importante para estimar de una manera adecuada la biomasa y el carbono de los bosques; sobre todo en el contexto de evaluación de acciones de mitigación a nivel nacional, incluyendo el desarrollo y seguimiento a políticas relacionadas con cambio climático.

El establecimiento de la base de datos depende en gran medida de la información básica con la que se cuenta, así como los resultados que esperamos obtener con el análisis de dicha información; por ejemplo en México se cuenta con un inventario nacional forestal y de suelos, el cual se utiliza como base para la estimación de acervos de carbono y cambios en los acervos de carbono, como parte del sistema nacional de monitoreo forestal, esta información se usa además para hacer escenarios de mitigación basados en las emisiones históricas, así como para elaborar los reportes que el país tiene que entregar a nivel internacional (FRA, INEGI-IPCC, etc.), incluso son la base para elaborar mapas de biomasa.

Es importante mencionar que los MA existentes a nivel nacional e internacional han sido desarrollados para diferentes necesidades, partiendo de diferentes enfoques y por lo tanto cuantificando diferentes acervos y componentes, generalmente desarrollados a nivel de especie, a nivel de un género, o de un tipo de vegetación; así también algunos se desarrollan solo para estimar biomasa del fuste, otros componentes como ramas, hojas o raíces; mientras que también hay los que estiman volumen, biomasa o carbono directamente.

Dada la variedad de MA y usos que se le pueden presentar, es de suma importancia contar con una base de datos estandarizada, en un formato accesible, que permita su uso por diversos actores interesados.

Por lo tanto es importante que las bases de datos cuenten con información asociada (metadatos) a los diferentes modelos para su adecuado uso, sobre todo cuando se cuenta con más de un modelo para una determinada especie, género o tipo de vegetación, por lo que es necesario hacer uso de dicha información para poder asignar el mejor modelo dependiendo de las características de dicha especie; es importante analizar la información más importante que se requiere ya que será incorporada a la base de datos y debe estar definido previo a iniciar una recopilación de información.

Dada la heterogeneidad tanto de la información base como de los MA en sí, es necesario el desarrollo de bases de datos adecuadas a las necesidades de información identificadas; estas bases de datos parten de la recopilación de información proveniente de diversas fuentes que tienen diferentes niveles de calidad, como son revistas indexadas, capítulos de libros, tesis, reportes técnicos, etc.

4.2.1.1. Procedimiento de recopilación de información

Como un primer esfuerzo, los modelos alométricos fueron obtenidos de recopilaciones bibliográficas existentes. Estas recopilaciones incluyeron 250 modelos alométricos de biomasa (219 por especie y 31 por género). A esta compilación base se le agregaron 91 nuevos modelos alométricos actualizados al año 2012, para un total de 341 modelos alométricos de biomasa, de los cuales, un modelo requiere área basal como su parámetro de calibración y otro requiere la altura total del árbol, los restantes 339 dependen únicamente del DAP.

Actualmente existen esfuerzos nacionales e internacionales de recopilación y publicación de este tipo de bases de datos, sin embargo para lograr su estandarización e incorporar información adicional se requiere de la participación de las instituciones involucradas en el tema para que contribuyan con sus datos y metadatos en el acervo de estimaciones.

4.2.1.2. Descripción

Para las estimaciones de biomasa y carbono, se requiere un algoritmo para la selección de MA que permita la estimación de biomasa aérea a nivel de individuo y que sea la base para la estimación de biomasa subterránea. El algoritmo está dividido en cinco pasos y comprendido en un protocolo con el fin de asegurar la repetitividad del proceso y la consistencia temporal de las estimaciones de biomasa por individuo en términos ecológicos, estadísticos y espaciales. El producto final de la aplicación del protocolo es un estimado de carbono en la biomasa (aérea y subterránea) para cada individuo en el(los) inventario(s) forestal(es) de interés.

Paso 1: Se define el grupo de individuos (vivos, muertos y tocones) para estimar dentro de una unidad de muestreo (400m²).

Paso 2: Usando las coordenadas del centro del sitio se obtiene dos clases de cobertura a la que pertenecen los individuos, clase de cobertura ECOREGION 2008, y Serie V de INEGI.

Paso 3: Usando la base de datos de modelos alométricos (Cuadro 9), la cual incluye modelos alométricos de biomasa clasificados en tipos de especie, género y vegetación, se realiza una búsqueda y selección del modelo de biomasa que genere la menor incertidumbre, basándose en una serie de reglas sistemáticas que permiten ordenar y clasificar los modelos en base a sus metadatos y estadígrafos generando un algoritmo recursivo, este “árbol de decisión” fundamenta su proceso en un Análisis de Sensibilidad de Modelos Alométricos (ASMA) creado específicamente para lograr la mejor selección estadísticamente de una ecuación de biomasa. El árbol de decisión de modelos alométricos se presenta en el Figura 15.

Cuadro 9. Base de datos de Modelos Alométricos para cálculo de Biomasa

Metadato	Todos los modelos	Nivel de especie	Nivel de género	Nivel de vegetación
Número de modelos alométricos	504	405	53	18
Año de publicación	450	367	41	16
DAP mínimo	361	286	33	15
DAP máximo	333	258	33	15
Clima	346	293	27	4
Precipitación mínima	144	123	19	1
Número de árboles	437	359	40	16
r ²	437	363	33	17
Coordenadas geográficas	402	314	48	14
Tipo de suelo	324	270	28	4
Temperatura promedio	311	264	23	4
Altitud mínima	157	136	16	3

Altitud máxima	175	151	19	3
Error estándar	53	43	9	0
Precipitación máxima	125	102	16	6
Precipitación promedio	289	237	28	4
Error cuadrático medio	46	20	5	4
DAP promedio	127	93	12	1
Temperatura mínima	104	95	9	0
Temperatura máxima	111	99	9	0
Altitud promedio	163	128	15	1
Densidad de madera promedio	182	180	1	0
Fracción de carbono	2	1	1	0
Perturbaciones naturales	16	13	3	0
Raíz cuadrada del error cuadrático medio	3	2	1	0
Varianza de la biomasa por árbol	0	0	0	0
Biomasa promedio por árbol	0	0	0	0
Tipo de manejo	96	64	14	2

En la Cuadros 10 y 11 se muestra la descripción de aplicación de las ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea para el INFyS 2004-2007 y 2009-2013 respectivamente, como resultado de la aplicación del árbol de decisión en su versión 20 (Figura 15) la cual incluye el Análisis de Sensibilidad de Modelos Alométricos (ASMA).

Paso 4. Se ejecuta la ecuación seleccionada para la estimación de biomasa y el resultado es convertido a carbono por medio de los factores de expiación de carbono para México.

Cuadro 10. Aplicación de las ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea para el INFyS 2004-2007

Nivel	Aplicación de ecuación	No. ecuaciones	No. Referencias	No. árboles	% del total de árboles
1	Por especie, [x]	53	30	110,913	9.3%
2	Por género, [x]	9	6	217,387	18.3%
4	Por especie, [x]	56	33	111,996	9.4%
5	Por género, [x]	5	5	77,917	6.5%
6	Por vegetación, [x]	4	2	671,752	56.4%
7	Por especie, [x]	11	14	115	<0.0%
8	Por género, [x]	4	6	47	<0.0%
9	Por vegetación, [x]	3	4	139	<0.0%
Total		145	100	1,190,266	100%

Cuadro 11. Aplicación de las ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea para el INFyS 2009-2013

Nivel	Aplicación de ecuación	No. ecuaciones	No. Referencias	No. árboles	% del total de árboles
1	Por especie, [x]	57	31	110,825	8.6%
2	Por género, [x]	9	6	213,649	16.5%
4	Por especie, [x]	55	32	118,933	9.2%
5	Por género, [x]	5	5	75,354	5.8%
6	Por vegetación, [x]	4	2	718,250	55.5%
7	Por especie, [x]	69	23	54,872	4.2%
8	Por género, [x]	5	7	3,043	0.2%
9	Por vegetación, [x]	3	4	292	0.0%
Total		207	110	1,295,218	100%

En el Cuadro 12 se muestra las referencias de los modelos alométricos utilizados en el cálculo de biomasa, categorizado por nivel de aplicación.

Cuadro 12. Referencia de Modelos Alométricos.

Nivel	Número de ecuaciones empleadas	Referencias
1	31	Acosta et al. 2002, Acosta et al. 2003, Acosta et al. 2011, Aguilar et al. 2009, Aguilar et al. 2012, Aguirre et al. 2011, Avendaño et al. 2006, Avendaño et al. 2007, Ayala et al. 2001, Bonilla et al. 2009, Castellanos et al. 1993, Díaz et al. 2005, Domínguez et al. 2005, Douterlungne et al. 2013, Gómez et al. 2008, Gómez et al. 2011, González et al. 2008, Guerrero et al. 2013, Jiménez et al. 2010, Juárez et al. 2008, Manzano et al. 2010, Méndez et al. 2011, Meráz et al. 2013, Nívar et al. 2010, Pacheco et al. 2011, Pimienta et al. 2007, Rodríguez et al. 2007, Rojo et al. 2005, Tomas et al. 2013, Vigil et al. 2010
2	6	Acosta et al. 2002, Acosta et al. 2003, Aguilar et al. 2012, Aguirre et al. 2011, Ayala et al. 2001, Nívar et al. 2010
4	32	Acosta et al. 2002, Acosta et al. 2003, Acosta et al. 2011, Aguilar et al. 2009, Aguilar et al. 2012, Aguirre et al. 2011, Aristizabal et al. 2002, Avendaño et al. 2006, Avendaño et al. 2007, Ayala et al. 2001, Bonilla et al. 2009, Díaz et al. 2005, Domínguez et al. 2005, Douterlungne et al. 2013, Gómez et al. 2008, González et al. 2008, Guerrero et al. 2013, Jiménez et al. 2010, Juárez et al. 2008, Manzano et al. 2010, Méndez et al. 2011, Meraz et al. 2013, Monroy et al. 2004, Nívar et al. 2009, Nívar et al. 2010, Palma et al. 2011, Pimienta et al. 2007, Rodríguez et al. 2007, Segura et al. 2006, Vigil et al. 2010
5	5	Acosta et al. 2002, Acosta et al. 2003, Ayala et al. 2001, Nívar et al. 2010, Segura et al. 2006
6	2	Chave et al. 2005, Schlamadinger et al. 2003
7	23	Acosta et al. 2002, Acosta et al. 2003, Acosta et al. 2011, Avendaño et al. 2006, Avendaño et al. 2007, Cairns et al. 2003, Day et al. 1987,

		<i>Douterlungne et al. 2013, Gómez et al. 2008, Juárez et al. 2008, Manzano et al. 2010, Martínez et al. 1992, Návar et al. 2004, Návar et al. 2009, Rodríguez et al. 2007, Rodríguez et al. 2008, Rodríguez et al. 2006, Rodríguez et al. 2009, Segura et al. 2006, Vigil et al. 2010</i>
8	7	<i>Acosta et al. 2002, Acosta et al. 2003, Ayala et al. 2001, Cairns et al. 2003, Rodríguez et al. 2007, Rodríguez et al. 2006, Segura et al. 2006</i>
9	4	<i>Chave et al. 2005, Rodríguez et al. 2007, Rodríguez et al. 2009, Schlamadinger et al. 2003</i>

Paso 5. Estimación del carbono en la biomasa subterránea (raíces) solo se estimó a niveles de agregación superiores (UMS) bajo el enfoque conceptual propuesto Cairns et al. (1997). Con este método, es posible obtener indirectamente la biomasa subterránea como una fracción de la biomasa aérea. Sin embargo, dadas las propiedades de los modelos propuestos por Cairns et al. (1997), la estimación de la biomasa subterránea solo es posible obtenerla a niveles de UMS o UMP (Mg C ha), por lo que no existe una consulta de estimación de biomasa a nivel de observación (arbolado).

Se emplean las ecuaciones alométricas de Cairns et al. (1997) (ecuaciones 2 y 3) para biomasa subterránea en función de la biomasa aérea y por tipo de ecosistema, mediante las ecuaciones:

$$(Y) = \exp(-1.0587 + 0.8836(\ln(C_{BA})) + 0.2840) \quad (\text{Ec. 2})$$

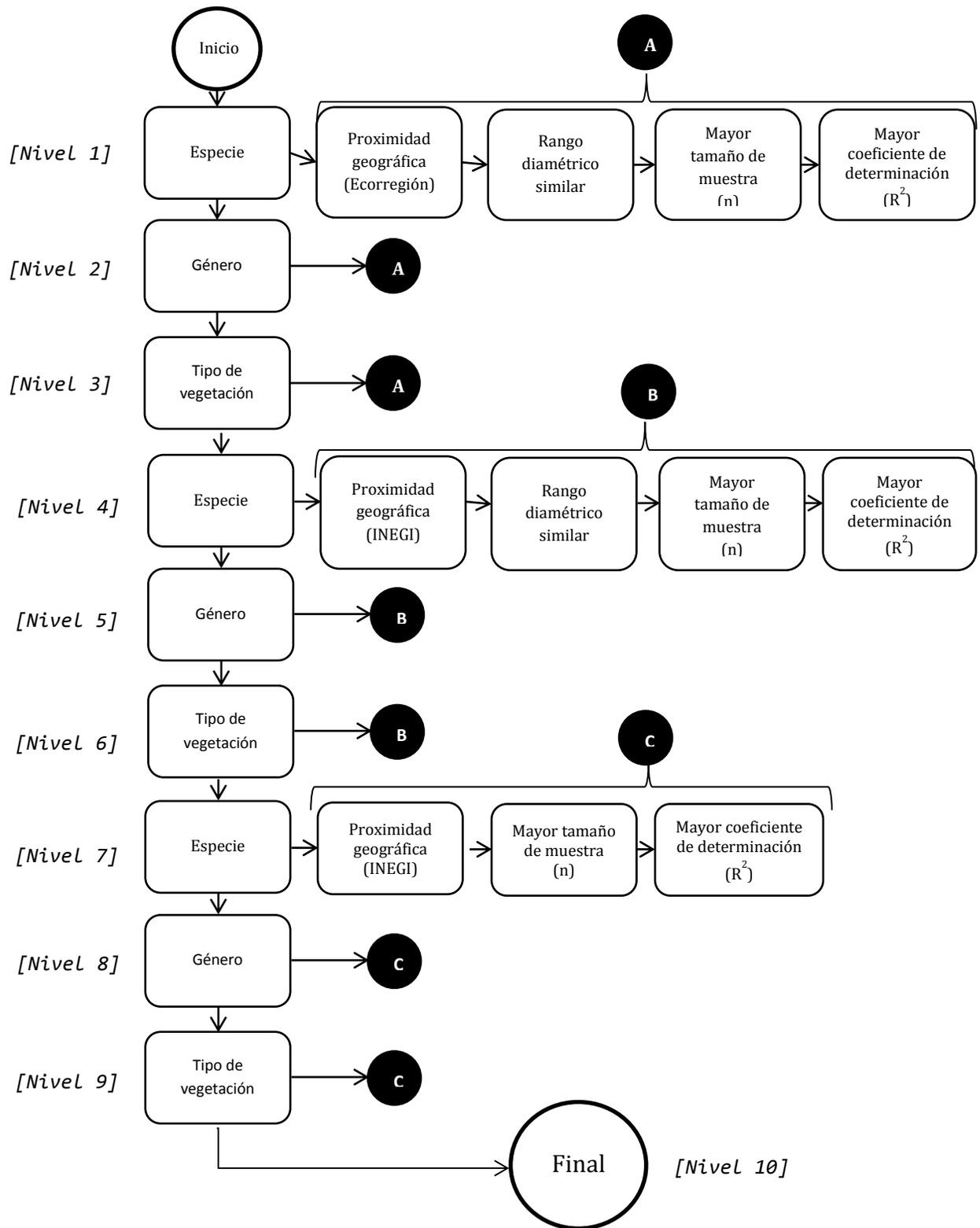
$$(Y) = \exp(-1.0587 + 0.8836(\ln(C_{BA}))) \quad (\text{Ec. 3})$$

dónde: Y: carbono en la biomasa subterránea, [(Mg C)(ha)⁻¹]

C_{BA}: carbono en la biomasa aérea, [(Mg C)(ha)⁻¹]

Nota: La Ecuación 2 es aplicable a bosques templados y la Ecuación 3 es aplicable a bosques tropicales (selvas) según Cairns et al. (1997).

Figura 15. Árbol de decisión para la selección de modelos alométricos de biomasa. "A" es el proceso de estimación estándar. "B" corresponde al proceso de estimación utilizando la clase de cobertura del INEGI Serie V. "C" corresponde al proceso de estimación fuera de los rangos diamétricos de aplicabilidad del modelo.



A partir de la biomasa obtenida a nivel de cada uno de los árboles, se le asignó una fracción de carbono de forma diferenciada a cada registro (especie, género y grupo vegetal). En total se disponen de 56 fracciones de carbono para especies del país encontradas en la literatura como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13, Fracciones de carbono utilizadas para los modelos alométricos empleados para la estimación de biomasa a nivel de árbol.

Especie o tipo de vegetación	% C	Referencia
Bosque mesófilo	44.90	Figueroa-Navarro et al 2007
Bosque mesófilo de montaña	49.62	Figueroa et al. 2005
Bosque pino	46.80	Figueroa et al. 2006
<i>Abies vejarii</i>	47.35	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Abies vejarii</i>	47.35	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Alnus</i> sp	51.30	Figueroa 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</i> sp	49.63	Figueroa et al. 2005
<i>Cupressus arizonica</i>	49.23	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Cupressus arizonica</i>	49.23	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Dendropanax arboreus</i>	47.00	Hernández y Pérez 2003
<i>Inga</i> sp	50.36	Figueroa et al. 2005
<i>Juniperus flaccida</i>	51.18	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Juniperus flaccida</i>	51.18	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Juniperus monosperma</i>	49.11	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Juniperus monosperma</i>	49.11	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Liquidambar</i> sp	49.67	Figueroa 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 2003
<i>Picea mexicana</i>	46.98	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Picea mexicana</i>	46.98	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus arizonica</i>	49.36	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus arizonica</i>	49.36	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus ayacahuite</i>	48.86	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus ayacahuite</i>	48.86	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus cembroides</i>	50.25	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus cembroides</i>	50.25	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus culminicola</i>	46.13	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus culminicola</i>	46.13	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus greggi</i>	47.13	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus greggi</i>	47.13	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus hartwegii</i>	46.87	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus hartwegii</i>	46.87	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus nelsonii</i>	47.41	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus nelsonii</i>	47.41	Jiménez-Pérez et al. 2008
<i>Pinus pseudostrobus</i>	50.35	Aguirre y Jiménez, 2007

<i>Pinus pseudostrobus</i>	50.35	Jiménez-Pérez <i>et al.</i> 2008
<i>Pinus pseudostrobus</i>	50.35	Jiménez-Pérez <i>et al.</i> 2008
<i>Pinus remota</i>	45.67	Jiménez-Pérez <i>et al.</i> 2008
<i>Pinus remota</i>	45.67	Jiménez-Pérez <i>et al.</i> 2008
<i>Pinus tecote</i>	47.78	Aguirre y Jiménez, 2007
<i>Pinus tecote</i>	47.48	Jiménez-Pérez <i>et al.</i> 2008
<i>Pinus tecote</i>	47.48	Jiménez-Pérez <i>et al.</i> 2008
<i>Piscidia communis</i>	48.40	Hernández y Pérez 2003
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	46.76	Jiménez-Pérez <i>et al.</i> 2008
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	46.76	Jiménez-Pérez <i>et al.</i> 2008
<i>Quercus spp</i>	48.43	Aguirre y Jiménez, 2007
<i>Quercus spp</i>	47.26	Figuerola <i>et al.</i> 2005
<i>Rapanea sp</i>	49.49	Figuerola <i>et al.</i> 2005
Selva baja caducifolia	48.09	Jaramillo <i>et al.</i> 2003
<i>Sickingia salvadorensis</i>	49.91	Hernández 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
Promedio	48.37	

En caso de no tener dato para el registro a nivel de especie, género y/o tipo de vegetación se le asignó la fracción promedio de 0.48% a cada individuo.

4.2.1.3. Control de Calidad

Es importante mencionar que se requiere de un gran esfuerzo de control y aseguramiento de calidad (Cuadro 14), por lo cual actualmente se realiza una recopilación de información sobre los datos originales con los cuales se construyeron las ecuaciones alométricas, con el propósito de reconstruir las ecuaciones e identificar aquellas que pueden ser mejoradas mediante el análisis y mejor ajuste estadístico en sus estadígrafos.

Cuadro 14 Composición de la base de datos de MA

	Tablas	Campos	Descripción
Catálogos	10	87	Catálogos que caracterizan un modelo alométrico y que son compartidos por uno o varios modelos, ej. Autores, componentes (raíz, tronco, ramas, hojas, frutos, árbol total), variables, unidades de medida, país, estado, vegetación etc.
Metadatos modelo	10	128	La información del modelo, fórmula, composición, descripción, estadígrafos, resultado, unidades, vegetación asociada, especie(s) asociada(s), etc.
Enlace (BD Especies)	3	27	La base de datos de especies, la cual contiene identificador único y es compartido

			por las demás bases de datos de información dasométrica colectada por el inventario forestal; incluyendo sinonimias, correcciones, errores tipográficos, géneros y familias y variedades.
Sistema Web (autenticación)	8	46	Control de usuarios, permisos, tareas para la alta, baja, modificaciones de modelos alométricos desde un sistema que controla los accesos y la restricción de la información pública de la base de datos.

El principal objetivo de la base de datos de MA es interactuar su información con diferentes insumos (Datos del INFyS, diámetro, altura, spp datos de densidades de madera, y fracciones de carbono); de tal forma que nos permita cruzar la información y hacer uso de las ecuaciones para obtener las mejores estimaciones tomando en cuenta los metadatos y características intrínsecas de cada MA y el individuo a estimar.

También se requiere que las bases de datos de MA sean lo bastante flexibles para incorporar nuevos datos conforme se desarrollan o se recopilan o mejoran los previamente desarrollados, de tal forma que cada vez que sea necesario generar una nueva estimación esta se realice con la información última y actualizada, para ello se diseñó un sistema que permite interactuar con la base de datos de forma restringida pero en línea para que la comunidad científica y/o académica interactúe, mejore e incremente la base de datos de MA de manera online (www.mrv.mx/modelosalometricos).

4.2.1.4. Almacenamiento

Los modelos alométricos se encuentran almacenados en una base de datos relacional y estandarizada con identificadores únicos y catálogos homogenizados que fue estructurada en Microsoft SQL 2008 R2. Con sus respectivos planes de respaldo diferenciados y programados como parte de un plan de aseguramiento de la información siguiendo los estándares que un centro de información requiere.

Esta base de datos está directamente enlazada a la base de datos del INFyS y al Catálogo Taxonómico CONAFOR mediante los campos de "id_especie" e "id_caracteristica_arbolado". Los modelos alométricos se almacenan en www.mrv.mx/modelosalometricos. Este sistema guarda la información en un conjunto de tablas y catálogos referenciados que relacionan las especies con los modelos y el tipo de vegetación que le corresponde, la posición geográfica del sitio de donde se extrajeron los árboles para generar el modelo, las estadísticas del modelo (R², ECM, n, máximo, mínimo), densidades de madera, fracciones de carbono y las variables dasométricas que se usan como regresoras y las estimaciones de los parámetros del modelo.

En términos de hardware la base de datos tiene las siguientes características (Cuadro 15):

Cuadro 15. Hardware y almacenamiento

Tamaño BD	78.56MB
Mapa de caracteres	Modern_Spanish_CI_AS
Servidor	Dell Windows Server 2012 Estándar Edition 2 Procesadores E5 1.9Ghx 15Mb cache, Red Broadcom 57810 dual port 10Gb
Almacenamiento	Dell Compellent Storage Center SAN, SC8000, 10Gb iSCSI para 24TB + 36TB extensión. (1TB = 1,024GigaBytes).

Las especificaciones técnicas y de software utilizado para la creación, almacenamiento y uso de la base de datos de modelos alométricos están en función de los recursos disponibles por la entidad encargada de su resguardo y mantenimiento, cabe destacar que existen diferentes licencias de uso tanto libres como propietario, el uso y explotación de estas estarán en función de las necesidades para las cuales se desarrolle la base de datos. Es muy importante destacar que es estrictamente necesario contar con un *arquitecto de sistemas* que conceptualice el uso y alcance actual y futuro de las herramientas a utilizar ya que la base de datos de MA es un subconjunto y solo una parte de un objetivo mucho más extenso que solamente contener las ecuaciones de modelos alométricos.

4.2.1.5. Base de Datos Final (Salida)

Se actualizaron al 2014 en una segunda revisión las recopilaciones de ecuaciones existentes, realizando un trabajo de revisión y recopilación de nuevos modelos alométricos incluyendo 224 nuevos modelos alométricos de biomasa publicados en la literatura científica. Además se corrigieron 279 ecuaciones originales mediante un proceso de control de calidad exhaustivo. Se deshabilitaron para su uso 62 modelos, por presentar problemas en el control de calidad de la información o porque el modelo tuvo una actualización por parte del mismo autor con una publicación asociada. Las 502 ecuaciones cubren 397 especies (6.4% del total de 6,110 especies registradas en el Catálogo Taxonómico CONAFOR [ver apartado “Base de Datos para Monitoreo Forestal”, en el capítulo 4. Insumos]). Los modelos alométricos de biomasa emplearon de 5 a 1,501 árboles en su construcción, con una media de 57. Los rangos de aplicabilidad de los modelos están en 0.6-22.3 cm, con un promedio de 6.4 cm, para el mínimo diámetro a 1.3 m sobre el suelo (DAP) y 3.6-138 cm, con un promedio de 42.09, para el DAP máximo. En los últimos 2 años se ha desarrollado un sistema de gestión de modelos alométricos, el cual tiene la capacidad de incluir las nuevas ecuaciones alométricas que se desarrollen en el futuro, e incluye una base de datos con 81 metadatos que describen a detalle las características de los modelos alométricos (Cuadro 16). La referencia de los modelos alométricos de biomasa se encuentra disponible mediante la página de internet www.mrv.mx/modelosalometricos.

Cuadro 16. Modelos alométricos utilizados para la estimación de biomasa.

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, et al. 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, et al. 2003.
<i>Myrsine coriacea</i>	$(Exp(-1.99)*d130^{2.26})$	Acosta, et al. 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, et al. 2007

<i>Pinus arizonica</i>	$(22.3476 + 4.947 * d130 + 0.4911 * d130^2 + 0.0039 * d130^2 * Ht)$	Pimienta, et al. 2007
<i>Pinus arizonica</i>	$(\text{Exp}(-0.877) * d130^{1.98})$	Návar, 2010a
<i>Pinus arizonica</i>	$(\text{Exp}(-2.523) * d130^{2.437})$	Návar, 2010a
<i>Pinus arizonica</i>	$(\text{Exp}(-3.573) * d130^{2.746})$	Návar, 2010a
<i>Pinus ayacahuite</i>	$(0.058 * (d130^2 * Ht)^{0.919})$	Ayala, 1998
<i>Pinus ayacahuite</i>	$(\text{Exp}(-3.066) * d130^{2.646})$	Návar, 2010a
<i>Pinus durangensis</i>	$(\text{Exp}(-2.084) * d130^{2.323})$	Návar, 2010a
<i>Pinus durangensis</i>	$(\text{Exp}(-3.416) * d130^{2.715})$	Návar, 2010a
<i>Pinus engelmannii</i>	$(0.1354 * d130^{2.3033})$	Návar, J. 2009b
<i>Pinus leiophylla</i>	$(\text{Exp}(-3.039) * d130^{2.523})$	Návar, 2010a
<i>Pinus leiophylla</i>	$(\text{Exp}(-3.549) * d130^{2.787})$	Návar, 2010a
<i>Pinus maximinoi</i>	$(0.0551 * (d130 * Ht)^{1.3895})$	Mequeas-González, 2008
<i>Pinus oocarpa</i>	$(\text{Exp}(-3.065) * d130^{2.625})$	Návar, 2010a
<i>Pinus patula</i>	$(\text{Exp}(-1.8621) * d130^{2.27675})$	Castellanos, et al., 1996
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$(0.35179 * d130^2)$	Aguirre y Jiménez 2011
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$(\text{Exp}(-3.1641) * d130^{2.5996})$	Rodríguez, et al. 2007
<i>Pinus sp</i>	$(0.084 * d130^{2.475})$	Ayala, et al. 2001
<i>Pinus sp</i>	$(\text{Exp}(-2.818) * d130^{2.574})$	Návar, 2010a
<i>Pinus teocote</i>	$(0.40196 * d130^2)$	Aguirre y Jiménez 2011
<i>Pinus teocote</i>	$(\text{Exp}(-3.182) * d130^{2.702})$	Návar, 2010a
<i>Piper amalago</i>	$(0.3627 + (0.0322 * d130^2 * Ht))$	Cairns, et al. 2003
<i>Piscidia piscipula</i>	$(0.064066 * d130^{2.62323})$	Rodríguez, et al. 2008
<i>Podocarpus matudae</i>	$(0.132107 * d130^{2.2217})$	Rodríguez, 2007
<i>Pouteria campechiana</i>	$(0.0358 * (d130^2 * Ht)^1)$	Cairns, et al. 2003.
<i>Pouteria reticulata</i>	$(0.0465 * (d130^2 * Ht)^1)$	Cairns, et al. 2003.
<i>Prunus pérsica</i>	$(\text{Exp}(-2.76) * d130^{2.37})$	Acosta, 2003
<i>Psidium guajava</i>	$(0.246689 * d130^{2.24992})$	Rodríguez, et al. 2008
<i>Quercus canbyi</i>	$(0.092 * d130^{2.448})$	Domínguez, 2005
<i>Quercus canbyi</i>	$(\text{Exp}(-2.3112) * d130^{2.4497})$	Rodríguez, et al. 2007
<i>Quercus crassifolia</i>	$(0.283 * (d130^2 * Ht)^{0.807})$	Ayala, 1998
<i>Quercus laceyi</i>	$(\text{Exp}(-2.4344) * d130^{2.5069})$	Rodríguez, et al. 2007
<i>Quercus peduncularis</i>	$(\text{Exp}(-2.27) * d130^{2.39})$	Acosta, 2003
<i>Quercus rysophylla</i>	$(\text{Exp}(-2.2089) * d130^{2.3736})$	Rodríguez, et al. 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 et al. 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, et al. 1987
<i>Ternstroemia sylvatica</i>	$(0.035689 * d130^{2.56487})$	Rodríguez, 2007
<i>Ternstroemia sylvatica</i>	$(0.132193 * d130^{2.49568})$	Rodríguez et al. 2009
<i>Tilia americana</i>	$(0.048454 * d130^{2.58164})$	Rodríguez, et al. 2008
<i>Trichilia havanensis</i>	$(0.130169 * d130^{2.34924})$	Rodríguez, et al. 2008
<i>Wimmeria concolor</i>	$(0.346847 * d130^{1.99059})$	Rodríguez et al. 2009
Bosque de coníferas	$(0.887 + ((10486 * d130^{2.84}) / (d130^{2.84} + 376907)))$	Schlamadinger, et al. 2003
Bosque de encino	$(0.5 + ((25000 * d130^{2.5}) / (d130^{2.5} + 246872)))$	Schlamadinger, et al. 2003
Bosque de pino	$(\text{Exp}(0.685) * \text{Ht}^{1.218})$	Návar, 2010b
Bosque mesófilo de montaña, Selva perennifolia, Selva subcaducifolia, Vegetación hidrófila	$(\text{Exp}(-2.4099) * (d130^2 * \text{Ht} * P^{*1})^{0.9522 * 1})$	Brown, et al. 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, et al. 2005
Selva perennifolia	$(P * \text{Exp}(-1.239 + 1.98 * \ln(d130) + 0.207 * \ln(d130)^2 + -0.0281 * \ln(d130)^3))$	Chave, et al. 2005
Selvas secas (Selva caducifolia)	$(10^{-0.8092} * (\text{GE} * \text{AB}130 * \text{Ht})^{0.8247})$	Martínez-Yrizar, et al. 1992
Vegetación hidrófila	$(P * \text{Exp}(-1.349 + 1.98 * \ln(d130) + 0.207 * \ln(d130)^2 + -0.0281 * \ln(d130)^3))$	Chave, et al. 2005
Bosque cultivado Especial otros tipos Matorral xerófilo	$(\text{Exp}(-2.187) * (d130^2 * P * \text{Ht}^{*1})^{0.916 * 1})$	Chave, et al. 2005

La base de datos de modelos alométricos es la fuente de búsqueda para el árbol de decisión de estimación de biomasa a nivel de individuo, el árbol de decisión está diseñado de tal forma que cada vez que se incluya una ecuación alométrica que tenga un mejor ajuste para el individuo que se desea estimar escogerá la mejor ecuación, esto incluye utilizar primeramente ecuaciones locales a nivel de especie en caso de existir y en último término ecuaciones a nivel de tipo de vegetación, como lo recomiendan la guía de buenas prácticas del IPCC en el apartado 4.3.3.5.1

Biomasa sobre el suelo. De esta forma se provee un sistema de estimación auto mejorable y auto escalable dependiendo de la calidad y cantidad de información disponible para cada individuo. Esto permitirá que los nuevos modelos que se construyan por diferentes iniciativas (instituciones académicas, gubernamentales y de la sociedad civil) sean incluidos en el proceso de estimación a nivel nacional.

4.2.2. Densidades de la Madera

En México existe literatura científica y reportes técnicos que presentan valores de densidades de madera para especies forestales. La compilación más comprensiva, y que está disponible, es la reportada por Zanne et al. (2009), la cual aplica a 214 especies en México. Adicionalmente en el INEGI 1990-2006, presentan promedios de 11 valores de densidad de madera para algunas especies por tipo de vegetación reportada (de Jong et al. 2009). Similar a la densidad de la madera, se colectó información para 61 fracciones de carbono en el país (Anexo 1). El promedio de 0.48 es empleado como valor por defecto para el país.

Con el objetivo de evaluar los valores de densidad de la madera de una mayor cantidad de especies identificadas en el INFyS, se firmó un convenio de colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para la determinación taxonómica de 14,035 colectas provenientes de 3,165 conglomerados de todo México. 13,337 (95%) colectas del INFyS 2013 y 697 (5%) de colectas especiales 2009-2011. Se verificaron 700 determinaciones a nivel de especie o género con métodos moleculares.

En total se encontraron 1,268 especies en 453 géneros y 130 familias vegetales. Oaxaca presentó el 45% de las especies. La mitad de las colectas están en las cuatro familias Fagaceae (*Quercus*), Pinaceae (en su mayoría *Pinus*), Burseraceae (*Bursera*), y Leguminosae. Mientras por un lado *Pinus leiophylla* fue colectada 197 veces, hay 504 especies que fueron colectadas una sola vez.

Se midió la densidad de la madera de virutas provenientes de 3,663 árboles y 719 especies, para calcular la densidad básica (i.e., masa sin agua dividida entre volumen de madera en estado fresco). La densidad varía de un mínimo de 0.047 g/cm³ (una muestra de *Jacaratia dolichaula*, Caricaceae) a un máximo de 0.869 g/cm³ (*Prosopis glandulosa*, Leguminosae-Mimosoideae). El promedio es 0.507 g/cm³ y la mediana 0.5 g/cm³.

Se analizaron estadísticamente los componentes de varianza de las densidades de viruta. Aproximadamente dos terceras partes de la variación de densidad se encontró entre especies, y una tercera parte entre árboles de la misma especie.

4.2.2.1. Procedimiento de obtención

Desde los fines de 2012 se inició la preparación de dos manuales de capacitación, los cuales se entregaron a la CONAFOR en formato PDF el 21 de febrero 2013, y se anexaron a la licitación por parte de la CONAFOR:

- Manual para realizar las colectas botánicas del Inventario Nacional Forestal y de Suelos.
- Manual para tomar virutas de madera con el barreno de Pressler en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos.

Posteriormente hubo tres eventos de capacitación (formalmente denominados “Talleres de Homologación de Criterios”), donde se explicaron en aula y campo los procedimientos para subir árboles con equipo de seguridad, coleccionar ejemplares de herbario, prensar y secarlos, tomar muestras de tejido para análisis genético, tomar muestras de corteza y madera para los ejemplares, sacar y guardar virutas con el taladro de Pressler (y su mantenimiento), así como recopilar la información correspondiente para las bases de datos y las etiquetas de los ejemplares de herbario.

- 10 al 12 de abril 2013 en San Miguel Regla, Hidalgo (brigadas de la DIAAPROY, S.A. de C.V.)
- 16 al 20 de abril 2013 en Ciudad Guzmán, Jalisco (brigadas de INYDES, S.A. de C.V.)
- 26 al 30 de abril 2013 en Chetumal, Quintana Roo (brigadas de AMAREF, S.A. de C.V.)

La recepción y revisión de muestras Las empresas DIAAPROY e INYDES entregaron sus muestras en el Instituto de Biología de la UNAM. La empresa AMAREF envió algunas cajas por Correos de México, mientras las demás muestras fueron recogidas en Tuxtla Gutiérrez (Chiapas) por personal del Instituto de Biología de la UNAM.

Las plantas colectadas y enviadas al herbario de la UNAM se recibieron ya secas dentro de hojas de papel (generalmente periódico), y con su respectiva clave de colecta anotada. Cuando de una misma colecta había varios duplicados estos venían agrupados en paquetes y junto con las colectas restantes de sus respectivos conglomerados. Casi todo el material colectado, incluyendo frutos, virutas y muestras en gel de sílice se entregó dentro de cajas de cartón.

La división de los conglomerados entre las empresas en la colecta regular 2013, con INYDES en cargo de más de la mitad en el norte de México. Calculando el número promedio de colectas por conglomerado, el mayor número fue realizado por DIAAPROY, con un promedio de 7.5 colectas por conglomerado. Luego sigue INYDES (4.3) y finalmente AMAREF (2.3). En el sureste de México (aquí a cargo de AMAREF) hubiera sido deseable tener un mayor número de colectas, dada la gran diversidad arbórea (Cuadro 17).

Cuadro 17. Número de colectas por empresa

EMPRESA	NÚMERO DE COLECTAS 2013	NÚMERO DE CONGLOMERADOS 2013	PROMEDIO DE COLECTAS POR CONGLOMERADO
AMAREF	1,544 (11.6%)	674 (22.9%)	2.3
DIAAPROY	4,932 (37.0%)	660 (22.4%)	7.5
INYDES	6,861 (51.4%)	1,607 (54.6%)	4.3
TOTAL	13,337 (100%)	2,941 (100%)	4.5

- Más de 4,000 determinaciones de densidades de madera en virutas;
- Más de 1,500 secuencias del código de barras genética con la indicación de la especie;

4.2.2.2. Descripción

La densidad física es la masa dividida entre el volumen de una sustancia. En la literatura se encuentran dos variables relacionadas para expresar la densidad de la madera, la densidad absoluta (aquí en g/cm^3), y la densidad relativa o gravedad específica de la madera (sin dimensión). La gravedad específica es la relación entre la densidad absoluta y la densidad de agua.

En la presente evaluación se evaluó la densidad absoluta, llamándola simplemente “densidad de la madera”, ya que es un concepto más intuitivo, la variación de la gravedad específica por la temperatura es muy poca, se puede fácilmente convertir la densidad en la gravedad específica, y no hay una motivación para reportar la gravedad específica.

El protocolo utilizado para determinar la gravedad específica en virutas colectadas para el INFyS es una modificación del establecido para virutas tomadas con barreno de Pressler por la norma ASTM D2395-93, “Método estándar para gravedad específica de madera y materiales basados en madera”, de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM 2009). El método es similar al empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera de Valencia y Vargas (1997).

Lo que idealmente se mide para poder calcular contenido de carbono en árboles vivos es la densidad básica, definida como $(\text{Masa sin agua}) / (\text{Volumen de la madera en estado fresco})$. Para la densidad (o gravedad) básica, el volumen se mide entonces en una muestra de madera inmediatamente después de ser retiradas del árbol (Williamson and Wiemann 2010, Shmulsky and Jones 2011). Este volumen no lo tenemos, ya que ocurre una contracción del volumen de la madera al reducir su contenido de agua en estado fresco al estado del ambiente. En el caso de las muestras del inventario, se procesan las virutas posteriormente en el laboratorio para su medición, dependiendo de la forma y fragilidad. Para tomar en cuenta esta contracción, se puede emplear la fórmula de Simpson (1993) para convertir la gravedad específica con humedad en gravedad específica básica. Al considerar un ambiente de 20°C , y entonces dividir todas las gravedades específicas, se deriva la siguiente fórmula (Ecuación 4) para la densidad básica

$$\text{Densidad básica} = \frac{DSA}{1 + 0.265 * \frac{(30 - \% \text{Humedad})}{30} * DSA / 0.9982} \quad (\text{Ec. 4})$$

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 del agua en g/cm³ a una temperatura de 20°C.

4.2.2.3. Control de Calidad

Las bases de datos originales fueron entregadas en EXCEL por cada empresa con cada entrega física de colectas. Sin embargo, no siempre fueron consistentes las columnas de información. Además no fueron cumulativas para las entregas.

Finalmente, hubo inconsistencias en cómo presentar fechas, escribir nombres, etc. Por tanto, se tuvo que hacer un trabajo continuo de juntar, depurar, y complementar la información en una sola base en EXCEL. Adicionalmente, se tuvo que añadir la nueva información, generada en la UNAM. Para evitar un caos por diferentes personas modificando la base al mismo tiempo, solamente dos personas elaboraron la base: El Biól. Walter Parra realizó la verificación y captura de determinaciones taxonómicas, y el Dr. Martin Ricker elaboró la base en todos los demás aspectos.

4.2.2.4. Estructura de la Base de Datos

Se elaboró una base de datos en forma cumulativa desde 2013 hasta el final del proyecto (mayo de 2015). La información fue acumulada con los datos de colecta enviado por las empresas, y los datos generados en la UNAM, en particular las determinaciones taxonómicas y las densidades de las virutas de madera. La base de datos contiene 13,337 registros de datos con 72 columnas. Las columnas tienen los siguientes encabezados:

- 1) CÓDIGO ÚNICO DE COLECTA ++
- 2) EMPRESA *
- 3) CÓDIGO DE COLECTA: Iniciales *
- 4) CÓDIGO DE COLECTA: Número *
- 5) CÓDIGO DE COLECTA: a/b/c/d ++
- 6) CLAVE DE COLECTA *
- 7) PROYECTO DE LA CONAFOR *
- 8) ESTATUS *

- 9) CONGLOMERADO *
- 10) LATITUD (Grados) *
- 11) LONGITUD (Grados) *
- 12) ELEVACIÓN (m.s.n.m.) *
- 13) FECHA DE COLECTA *
- 14) COLECTOR *
- 15) ESTADO *
- 16) MUNICIPIO *
- 17) MUNICIPIO (Estado) ++
- 18) LUGAR *
- 19) CARACTERÍSTICAS DEL SITIO *
- 20) TIPO DE VEGETACIÓN POR EL COLECTOR (Colecta Especial) *
- 21) TIPO DE VEGETACIÓN OBSERVADO (Abreviatura) *
- 22) TIPO DE VEGETACIÓN OBSERVADO (Completa) *
- 23) PERTURBACIÓN OBSERVADA (Abreviatura) *
- 24) PERTURBACIÓN OBSERVADA (Completa) *
- 25) TIPO DE VEGETACIÓN ESPERADO (Abreviatura) *
- 26) TIPO DE VEGETACIÓN ESPERADO (Completa) *
- 27) PERTURBACIÓN ESPERADA (Abreviatura) *
- 28) PERTURBACIÓN ESPERADA (Completa) *
- 29) FORMA DE VIDA *
- 30) ALTURA REPORTADA (Metros) *
- 31) ALTURA (Metros) *
- 32) DIÁMETRO REPORTADO (DAP Centímetros) *
- 33) DIÁMETRO (DAP Centímetros) *
- 34) RELACIÓN DIÁMETRO/ ALTURA (Centímetros por metro) ++
- 35) COLOR DE FLORES EN CAMPO *
- 36) COLOR DE FRUTOS O CONOS EN CAMPO *
- 37) ¿EXUDADO PRESENTE? *
- 38) COLOR DEL EXUDADO *
- 39) ¿CAMBIA COLOR DEL EXUDADO CON EL AIRE? *
- 40) ¿ACEITES VOLÁTILES PRESENTES? *
- 41) DESCRIPCIÓN DE LOS ACEITES VOLÁTILES *
- 42) ¿CONTRAFUERTES PRESENTES? *
- 43) OBSERVACIONES DE LA EMPRESA *
- 44) ¿HOJA EN GEL INCLUIDO? *
- 45) ¿OTRO TEJIDO EN GEL INCLUIDO? *
- 46) ¿VIRUTA INCLUIDA? *
- 47) ¿FOTOS TOMADAS? *
- 48) NOMBRE COMÚN SEGÚN EMPRESA *
- 49) FAMILIA SEGÚN EMPRESA *
- 50) GÉNERO SEGÚN EMPRESA *
- 51) ESPECIE SEGÚN EMPRESA *
- 52) ¿COLECTA FÉRTIL? *
- 53) NÚMERO DE DUPLICADOS ++
- 54) FAMILIA SEGÚN UNAM ++
- 55) GÉNERO SEGÚN UNAM ++
- 56) ESPECIE SEGÚN UNAM ++

- 57) AUTOR DE ESPECIE ++
 - 58) DETERMINADA EN LA UNAM POR: ++
 - 59) EN COLABORACIÓN CON (en su caso): ++
 - 60) FECHA REGISTRO DE DETERMINACIÓN ++
 - 61) OBSERVACIONES EN LA UNAM ++
 - 62) VIRUTAS DEL MISMO ÁRBOL ++
 - 63) VIRUTA INICIALES COLECTA ++
 - 64) VIRUTA NÚMERO COLECTA ++
 - 65) LONGITUD DE VIRUTA (Centímetros) ++
 - 66) VOLUMEN DEL CILINDRO (Centímetros Cúbicos) ++
 - 67) MASA CON HUMEDAD DE AMBIENTE (Gramos) ++
 - 68) DENSIDAD CON HUMEDAD DE AMBIENTE (Gramos por Centímetros Cúbico) ++
 - 69) MASA SIN AGUA (Gramos) ++
 - 70) HUMEDAD ELIMINADA (Porcentaje) ++
 - 71) DENSIDAD SIN AGUA (Gramos por Centímetros Cúbico) ++
 - 72) DENSIDAD BÁSICA (Gramos por Centímetros Cúbico) ++
-

* Información colectada en campo

++ Elaborado por la UNAM

4.2.2.5. Almacenamiento

La información de densidades de la madera, es almacenada en el gestor de bases de datos de SQL Server 2012, se encuentra integrada con la información de la base de datos de modelos alométricos y de carbono para México, en la base de datos llamada “ypsilon”, que es el insumo para la Modeloteca publicada en el portal de MRV. Dicha densidad es un valor constante relacionado a una especie. Las densidades, se dividen en densidades de peso anhidrico sobre volumen verde y peso anhidro sobre volumen seco.

La base de datos contiene los esquemas catálogos, biomasa y Dbo, que agrupan las tablas de acuerdo a su relación lógica:

- a. **Catálogos.** Conjunto de información contenida que se relaciona con una o varias tablas a partir de un identificador numérico, en este esquema se agrupan los catálogos existentes del INFyS como aquellos que fueron detectados en el rediseño siguiendo la naturaleza de los datos ya existentes, cómo; especies, géneros, estratos, municipios.
- b. **Biomasa.** Esquema que contiene la información correspondiente a los cálculos de los modelos incluidos. Contiene por ejemplo las formulas, densidades de madera, los modelos y otras variables determinantes en los cálculos.
- c. **Dbo.** Dentro de este grupo se encuentran las tablas con las que opera la aplicación web Modeloteca en donde se publican los resultados de los cálculos.

4.2.2.6. Base de Datos Final (Salida)

La base de datos de densidades de la madera se encuentra integrada en el servidor del proyecto en plataforma SQL Server, y se encontrará disponible para consultas en internet mediante el Sistema Nacional de Monitoreo de Emisiones Forestales (SINAMEF).

4.3. Base de Datos Espaciales disponibles

4.3.1. Descripción

La estimación de los factores de emisión se construye utilizando información de fuentes oficiales, por lo que se establece como fuente de datos la información cartográfica contenida en las cartas de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250 000 a nivel Nacional en sus series II, III, IV y V elaboradas por el Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática (INEGI). Las series comprenden un periodo que abarca de 1993 (Serie II) hasta 2011 (Serie V) (Niño A y Victoria H 2013).

Estas series presentaban diferencias metodológicas y tecnológicas en su elaboración lo que no permitía una correcta comparación entre series subsecuentes² (Cuadro 18), es por ello que INEGI realizó un esfuerzo y desarrolló una tabla de correspondencia de conceptos entre las series II y III que se encuentran documentadas en los anexos de la Guía para la Interpretación de Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250 000 serie III (INEGI, 2009).

Cuadro 18. Comparación de métodos e insumos utilizados para la cartografía 1:250,000 de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, Series I a V (Victoria et al. 2011).

	SERIE I	SERIE II	SERIE III	SERIE IV	SERIE V
Fecha de referencia editorial	1985	1993	2002	2007	2011
Fecha de datos de campo	(1986) 1971-1986	1993 -1998	2002-2003	2007-2008	2012-2013
Escala	1:250,000	1:250,000	1:250,000	1:250,000	1:250,000
Resolución	Grano de emulsión/escala de vuelo	Pixel de 50m de origen, interpretación sobre imagen impresa escala 1:250,000	Pixel de 27.5m	Pixel de 10m	Pixel de 27.5m
Datos	Fotografías Aéreas	Espacio mapas Impresos	LANDSAT TM (30m)	SPOT 5 (10m)	LANDSAT TM (30m)
Metodología	Tecnología analógica	Tecnología analógica	Tecnología digital	Tecnología digital	Tecnología Digital
Información	Analógica	5 capas	14 capas	13 capas	14 capas

El INEGI preparó en 2014 una versión sintética del conjunto nacional de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000 de las diferentes series de tiempo (Serie II-Serie V), denominada Capa Unión donde muestran la distribución de las áreas agrícolas clasificadas de acuerdo a la

²El cuerpo técnico del INEGI recomendó no utilizar la Serie I debido a que no es comparable con el resto las Series.

forma de recibir el agua los cultivos y por su ciclo agrícola, áreas de uso pecuario y forestal y la distribución de los diferentes tipos de vegetación en su estado original, las fases sucesionales y la vegetación inducida de acuerdo con el sistema de clasificación de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI. El área mínima cartografiable es de 25 ha para Agricultura y Pastizal Inducido y 50 ha para comunidades vegetales. Estas capas se derivaron con base en la información presentada en la Series II, III, IV y V de Uso del Suelo y Vegetación y actualizada con imágenes del satélite LANDSAT del año 1993 (serie II), 2002 (serie III) 2011 (serie V) e Imágenes SPOT 2007 (serie IV).

4.3.2. Utilidad en el Proceso de Estimación

La estructura jerárquica de la cartografía del INEGI permite establecer una correspondencia entre las clases de cobertura vegetal en el país y la asignación de los grupos y tipos de vegetación a las categorías del IPCC (2003), de acuerdo a la GBP (2003) y lo que se define en el Protocolo de Clasificación de Cobertura de la Tierra (se describe en el siguiente apartado). A estas categorías se les puede asignar la información de las parcelas del muestro y re-muestro del INFyS ya que cada parcela se encuentra georreferenciada, donde previamente ya se calculado el valor de carbono (biomasa viva) para cada uno de los almacenes.

Para asignar los factores de emisión y absorción de carbono de la biomasa viva y las raíces a las diferentes superficies de permanencia o transición (combinaciones de cambio entre subcategorías de los tipos de cobertura) se necesitan las matrices de cambio de uso de suelo entre series, para definir las transiciones posibles, y así obtener los estimadores de FE, FA y sus incertidumbres en cada uno de los almacenes (biomasa aérea viva y raíces).

El mapa de Ecorregiones por otro lado se utilizó para en el caso de que las parcelas de muestreo y remuestreo del INFyS no puedan ser asignadas a alguna de las categorías definidas por las cartas de uso de suelo y vegetación, se tomó en cuenta la ecorregión donde caían los puntos de las parcelas de muestreo y remuestreo.

5. CLASIFICACIÓN

5.1. Determinación de las Clases de Uso de Suelo y Vegetación para la Estimación de Factores de Emisión

5.1.1. Definición de Bosque

De acuerdo con el Anexo sobre definiciones, modalidades, normas y directrices relativas a las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura previstas en el protocolo de Kyoto, (FCCC CP05 2000 y FCCC CP07 2002)

*Los **Bosques** son definidos como: Masas forestales naturales con una superficie mínima de tierras de 0,3 a 1,0 hectáreas (ha) con una capa continua de vegetación en que la cubierta de copas excede del 10 al 30% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de 2 a 5 metros (m) a su madurez in situ, donde se incluyen todas las plantaciones forestales capaces de alcanzar estos umbrales. (IPCC 2000, IPCC 2006).*

Cada Parte incluida en el anexo I elegirá, para la aplicación de la definición de "bosque", un solo valor mínimo de cubierta de copas comprendido entre el 10 y el 30%, un solo valor mínimo de superficie comprendido entre 0,5 y 1 ha y un solo valor mínimo de altura del árbol comprendido entre 2 y 5 m. Una vez efectuada la elección, la definición de bosque de cada Parte del anexo I se mantendrá invariable durante el primer período de compromiso (IPCC 2000).

Para México, la definición establecida en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) es la de "Terreno Forestal": la cual incluye a "todas aquellas tierras que están cubiertas por vegetación forestal".

A su vez, la definición de "Vegetación Forestal" (dentro de la misma LGDFS) es: "El conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas".

Las definiciones de Bosque, Selva y Vegetación Forestal de Zonas Áridas están incluidas en el Reglamento de la misma LGDFS, donde:

Bosque: vegetación forestal principalmente de zonas de clima templado, en la que predominan especies leñosas perennes que se desarrollan en forma espontánea, con una cobertura de copa mayor al diez por ciento de la superficie que ocupa. Esta categoría incluye todos los tipos de bosque señalados en la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Selva: vegetación forestal de clima tropical en la que predominan especies leñosas perennes que se desarrollan en forma espontánea, con una cobertura de copa mayor al diez por ciento de la superficie que ocupa. En esta categoría se incluyen a todos los tipos de selva, manglar y palmar de la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Vegetación forestal de zonas áridas: aquella que se desarrolla en forma espontánea en regiones de clima árido o semiárido. Se incluyen los tipos de matorral, selva baja espinosa y chaparral de la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como cualquier otro tipo de vegetación espontánea arbórea o arbustiva que ocurra en zonas con precipitación media anual inferior a 500 milímetros.

Todas las definiciones se encuentran referidas al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), institución oficial encargada de la elaboración de la Información de Uso de Suelo y Vegetación, insumo de interés nacional de acceso y distribución pública.

A partir de los datos del INFyS del ciclo 2004-2007 (20,602 Unidades de Muestreo Primarias), se obtuvo una altura mínima de 3.4 m, máxima de 13.2 m y 7.8 m en promedio general. Lo que refleja la condición predominantemente secundaria de los bosques a nivel nacional (Challenger y Dirzo 2009) y el bajo potencial de crecimiento de especies leñosas que se desarrollan en ecosistemas forestales con climas áridos y secos que forman zonas extensas del país con bosques templados semi-secos, selvas secas y matorrales xerófilos (Challenger y Soberón 2009).

En su promedio general el matorral xerófilo leñoso tiene una altura de 4.2 m. Los Bosques y Selvas alcanzan valores mayores a 5 metros (7.9 y 7.6 m respectivamente)

Por lo aquí descrito, la definición de Bosque para la presente evaluación es:

“Todas aquellas tierras que están cubiertas por bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas, con presencia de plantas perennes que crecen y se desarrollan en ecosistemas naturales, con una superficie mínima de tierras de 1.0 hectáreas (ha), una altura promedio superior a 4 metros, y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o capaces de alcanzar estos umbrales”.

Nota:

* Para la evaluación de los terrenos forestales, la superficie mínima establecida en la definición estará en función de área mínima que pueda detectada por el instrumento y/o tecnología utilizada para su cuantificación”.

5.1.2. Clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

Durante los últimos 40 años el INEGI se ha dado a la tarea de generar el Inventario de los Recursos Naturales de nuestro país en diferentes temáticas como lo son: Información Geológica, Edafológica, Hidrológica, Climas, Fisiográfica, Uso Potencial y la Información de Uso del Suelo y Vegetación. El Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica tiene la finalidad de suministrar a la sociedad y al Estado información de calidad y oportuna, por ello el INEGI, se ha enfocado en la generación de cartografía nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala

1:250 000, la cual permite realizar estudios tanto a nivel regional como a nivel nacional, actualmente se cuentan con cinco versiones: La Serie I con año de referencia 1985, la Serie II que data del año 1993, Serie III referida al año 2002, Serie IV que corresponde al año 2007 y la versión actual Serie V con año de referencia 2012. La serie V, cuyo objetivo principal es: Actualizar y generar información reciente sobre las condiciones que guarda la cubierta vegetal y el área que ocupa la agricultura en México, y con esto proporcionar a la sociedad un insumo que le permita evaluar la condición actual, dinámica de cambio y tendencias a nivel nacional y/o regional.

Este sistema está basado en los trabajos de Jerzy Rzedowski (1978, 2005), Faustino Miranda y E. Hernández (1963), cuyas propuestas han sido adaptadas a los criterios cartográficos y las necesidades de información del INEGI para sus productos a escala 1:250,000. Dentro del sistema las clases están organizadas en base a las características de los diferentes tipos de vegetación de tal forma que se definen en primer orden los grandes grupos de vegetación que a su vez comprenden los tipos de vegetación con afinidad ecológica y fisonómica: Bosque de Coníferas, Bosque de Encino, Bosque Mesófilo de Montaña, Selva Perennifolia, Selva Subcaducifolia, Selva Caducifolia, Selva Espinosa, Pastizal, Matorral Xerófilo, Vegetación Hidrófila, Otros Tipos de Vegetación.

En el caso de la información Uso del Suelo y Vegetación, es a partir de diciembre de 1999 que se estableció la conversión de toda la información impresa escala 1:250 000 y 1:1 000 000 a formato digital estableciéndose el concepto “conjuntos de datos”, que se define como la información que corresponde a la extensión equivalente a una hoja impresa en las escalas 1:50 000, 1:250 000, 1:1 000 000 y 1:4 000 000.

Objetivos del INEGI en la elaboración de sus Series de Uso de Suelo y Vegetación.

1. Indicar la distribución de los tipos de vegetación natural e inducida en México.
2. Identificar características relevantes de la vegetación arbórea de nuestro país (altura y cobertura).
3. Indicar el nivel y el tipo de afectación de las comunidades vegetales y su dinámica de uso.
4. Conocer la localización de las áreas agrícolas de acuerdo a su disponibilidad de agua, así como los tipos de cultivos que se siembran en esas áreas por su permanencia en el terreno.
5. Señalar sitios con actividad forestal.
6. Señalar el tipo de ganado presente en las áreas dedicadas a la ganadería.
7. Proporcionar información ecológica-geográfica para la enseñanza e investigación sobre los recursos naturales.
8. Apoyar la generación de estadísticas que permitan cuantificar el estado que guarda la cobertura vegetal y el uso del suelo en México.
9. Establecimiento de políticas a nivel nacional y/o regional.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es el encargado de proveer las estadísticas oficiales a nivel nacional y cuenta con el proyecto de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, el cual permite conocer el estado de la vegetación en la totalidad del territorio nacional. Esta información ha sido elaborada en varias escalas (Cuadro 19 y 20) con el objetivo de mantener un grado de detalle aceptable para las características de nuestro país (INEGI, 2009).

Cuadro 19, Formatos disponibles de las Series INEGI

	Serie Única	Series I a V	Series I a V	Series I y II	Series I y II
FORMATO	Impreso (2,313 Cartas)	Conjunto de Datos/Carta (144 cartas)	Conjunto Nacional	Conjunto de Datos/Carta (12 cartas)	Conjunto Nacional
ESCALA	1:50,000	1:250,000	1:250,000	1:1,000,000	1:1,000,000

Cuadro 20, Principales características de las Series INEGI (INEGI, 2013)

	SERIE I	SERIE II	SERIE III	SERIE IV	SERIE V
Fecha de referencia editorial	80's	90's	2002-2005	2007-2010	2011-2014
Fecha de datos de campo	(1986) 1971-1986	1993 -1998	2002-2003	2007-2008	2012-2013
Escala	1:250,000	1:250,000	1:250,000	1:250,000	1:250,000
Resolución	Grano de emulsión/escala de vuelo	Pixel de 50m de origen, interpretación sobre imagen impresa escala 1:250,000	Pixel de 27.5m	Pixel de 10m	Pixel de 27.5m
Datos	Fotografías Aéreas	Espacio mapas Impresos	LANDSAT TM (30m)	SPOT 5 (10m)	LANDSAT TM (30m)
Metodología	Tecnología analógica	Tecnología analógica	Tecnología digital	Tecnología digital	Tecnología Digital
Información	Analógica	5 capas	14 capas	13 capas	14 capas

Esta información cubre la totalidad del territorio nacional y se han realizado cinco series, cada una de ellas se ha realizado bajo diferente toma de datos, sin embargo son homologables. En este estudio, no se analizará la Serie I debido a posibles distorsiones y faltas de áreas a analizar.

5.1.3. Clasificación para el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Invernadero

Durante el desarrollo de cada uno de los Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), específicamente en el sector USCUS, se han realizado esfuerzos para reclasificar o agrupar los usos de suelo y vegetación de México de manera congruente a las necesidades de dicha evaluación, sin embargo, de acuerdo con la información disponible y los criterios empleados en cada periodo, ha habido diferencias en las agrupaciones, repercutiendo directamente en sus evaluaciones.

5.1.4. Clasificación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)

La Guía de Buenas Prácticas 2003 (IPCC), incluye seis categorías de uso de suelo para asegurar una representación coherente, las cuales abarcan todas las áreas geográficas de un País y estas son: Tierras Forestales, Pastizales, Tierras Agrícolas, Humedales, Asentamientos y Otras Tierras.

Los tipos de vegetación de la cartografía de uso de suelo y vegetación del INEGI (Series II, III, IV y V), como se mencionó anteriormente, fueron agrupados en 19 clases generales, de las cuales 12 están subdivididas en vegetación primaria y vegetación secundaria; para un total de 31 clases. Todas ellas anidadas a las seis categorías del IPCC, involucrando reuniones de trabajo entre INEGI, CONAFOR e INECC hasta lograr una agrupación de clases coherente para el presente reporte, la cual se muestran en la figura 16, llegando a los siguientes acuerdos:

1. Existe consenso con la propuesta de agrupación y la tabla de correspondencia sugerida para relacionar diferentes reportes que usan la clasificación de uso de suelo y vegetación del INEGI.
2. Se sugiere y acepta la reagrupación por parte del INEGI del matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo a la clase de Praderas (*sensu* IPCC).

Figura 16. Tipos de vegetación de la cartografía de uso de suelo y vegetación del INEGI (Series II, III, IV y V) anidadas a las seis categorías del IPCC.



Esta agrupación considera esencialmente los mismos criterios utilizados por el INEGI para lo que define como “grupo vegetal” o “grupo de vegetación”, aunque algunas adecuaciones se incluyen en la propuesta, entre las que se destacan, la separación del matorral xerófilo, especial otros tipos y vegetación hidrófila para incluirlos en las categorías de Tierras Forestales y Praderas (*sensu* IPCC).

5.2.3. Degradación

Se refiere a áreas que registraron cambios de una categoría de Tierra Forestal en una condición de desarrollo primaria a una categoría de Tierra Forestal en una condición de desarrollo secundaria. De acuerdo con FAO, son los cambios dentro del bosque que afectan negativamente la estructura o función del rodal o sitio y por tanto reduce la capacidad de proveer productos y/o servicios. De acuerdo con IPCC (2003), constituye la pérdida a largo plazo inducida por el hombre (que persista por X años o más) de al menos Y% de las reservas de carbono forestal desde la fecha T y que no se califica como deforestación o una actividad elegida conforme al Artículo 3.4 del Protocolo de Kyoto. La definición FRA 2000 de la FAO no contiene un estado de referencia explícita sino evidencia una comparación con la situación anterior. La definición no contiene un elemento de resiliencia y esto no separa la degradación causada naturalmente y la inducida por el hombre. La definición es genérica y abarca todos los tipos de bosques y todas las clases de degradación.

5.2.4. Reforestación

Se refiere a aquellas áreas con un uso de suelo No Forestal que cambian a una categoría de Tierra Forestal ya sea en una condición de desarrollo primaria o secundaria. De acuerdo con IPCC, es la conversión de tierras no forestales a tierras forestales mediante plantación, siembra y/o la promoción inducida por el hombre de fuentes de semillas naturales, sobre tierras que estuvieron forestadas pero que se han convertido a tierras no forestadas.

5.2.5. Recuperación

Se refiere a aquellas áreas que registraron cambios de una categoría de Tierra Forestal con una condición de desarrollo secundaria a una categoría de Tierra Forestal con una condición de desarrollo primaria. De acuerdo con IPCC, es la renovación de grupos de árboles, ya sea de forma natural (en el mismo lugar o en lugares adyacentes, o por semillas depositadas por el viento, pájaros o animales) o de forma artificial (mediante plantación directa), para incrementar las existencias de carbono en terrenos con una superficie mínima de 0.5 hectáreas y que no cumple con las definiciones de reforestación.

5.2.6. Cambio entre Usos de Suelo No Forestales

Son aquellas áreas que registraron cambios en su actividad dentro de una categoría de Tierra No Forestal, tales como Pradera, Humedal, Agrícola, Asentamientos y Otros Usos.

6. ESTIMACIONES

Descripción de los Depósitos en Función de Datos del INFyS

6.1. Estimaciones a Nivel de Observación (Arbolado Vivo, Arbolado Muerto en Pie, Tocones, Material Leñoso Caído, Hojarasca y Suelo).

6.1.1. Métodos

6.1.1.1. Carbono de la biomasa del arbolado vivo

El cálculo del carbono de la biomasa viva a nivel de árbol se realizó a partir de los registros de tallos de plantas leñosas (árboles y arbustos) colectados durante el primer ciclo (2004-2007) y segundo ciclo (2009-2014) del INFyS realizado por CONAFOR (2012). En la estimación del primer ciclo, se usaron los datos dasométricos medidos en 18,780 unidades de muestreo primarias (UMP), las cuales incluyeron 70,868 unidades de muestreo secundarias (UMS) con datos dasométricos de 1, 137, 872 registros de plantas leñosas vivas (árboles y arbustos) y 68,300 de plantas leñosas muertas en pie (árboles y arbustos). El manejo de las bases de los datos dasométricos mencionados, así como el detalle de los controles de calidad de la información se describen en la sección de “Bases de datos para el monitoreo forestal” del capítulo “4. Insumos”.

Para estimar la biomasa contenida en cada planta leñosa viva se aplicó un algoritmo de asignación de modelos alométricos, el cual permitió seleccionar el mejor modelo alométrico para cada árbol a partir de 504 modelos disponibles en el país. El árbol de decisión, el cual está basado en el Análisis de Sensibilidad de Modelos Alométricos (ASMA), permite identificar el modelo más adecuado en función de criterios ecológicos, espaciales y estadísticos. De esta manera, en el primer ciclo de inventarios se utilizó 83 modelos alométricos (a nivel de especie, género o tipo de vegetación) y para el segundo ciclo se utilizaron 502. La base de datos resumen de la recopilación de los modelos alométricos que se utiliza para hacer la estimación encuentra en sección de “Base de Datos adicionales para el proceso de estimación” en el capítulo “4. Insumos” (Cuadro 19) y la extensa se puede consultar en <http://www.mrv.mx/index.php/es/mrv-m/areas-de-trabajo/2013-09-17-22-03-45>.

Cabe mencionar que se excluyeron los registros pertenecientes a las familias *Agavaceae*, *Cyatheaceae*, *Cactaceae*, *Nolinaceae*, *Cyclanthaceae*, *Arecaceae*, *Poaceae*, *Cycadaceae*, *Nolinaceae* y las siguientes especies: *Euphorbia canariensis* y *Fouquieria columnaris*. Para estas familias y especies no se cuenta con modelos precisos para su estimación de biomasa y se excluyeron como medida conservadora. Esto representa una exclusión del 2.2% de los registros en el INFyS.

6.1.1.2. Carbono de la biomasa subterránea

El carbono de la biomasa subterránea (raíces) sólo se estimó a niveles de agregación superiores (UMS) bajo el enfoque conceptual propuesto por Cairns et al. (1997). Sin embargo, dada las

propiedades de estos modelos, la estimación de la biomasa subterránea solo es posible obtenerla a niveles de UMS o UMP, por lo que no se realizaron estimaciones de biomasa a nivel de observación (arbolado).

6.1.1.3. Carbono de los árboles muertos en pie

La estimación del carbono de los árboles muertos en pie se obtuvieron a partir de los datos del INFyS y modelos simples de volumen cónicos. El INFyS en sus dos ciclos de medición cuenta con suficiente información dasométrica para la estimación de este almacén ya que en el inventario, los árboles muertos en pie cuentan con datos como el DAP, la altura y en algunos casos la especie o género, adicionalmente, también es posible identificar la UMP y UMS a la que pertenece cada uno de los registros, con lo que se complementa la información necesaria para las estimaciones a nivel de clases de cobertura.

Para la obtención de la biomasa de cada uno de los árboles muertos en pie, primero se estima el volumen de los árboles muertos en pie a partir de la ecuación de volumen de un cono ($V = (\pi \times r^3 \times H)/3 = (H \times DB^3)/24\pi^2$) y posteriormente este volumen se pondera por la densidad de madera correspondiente. Por lo tanto, en cada árbol muerto en pie registrado en el INFyS, se evaluó la ecuación de volumen de un cono 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, DB es una variable que se tuvo que obtener indirectamente en función del DAP debido a que no es una variable registrada en el INFyS. Para obtener el DB se utilizó los datos de DAP y DB de la sub-muestra del INFyS así como modelos de regresión lineal. La sub-muestra del INFyS, que es un área en la que se realiza un muestreo intensivo de variables y que se localiza al centro de la primera UMS, cuenta con información del DAP y DB del arbolado vivo; por lo que con esta información se identificó la relación entre el DAP y el DB a través de modelos de regresión lineal desarrollados a nivel de cada uno de los tipos de vegetación del INEGI. Los modelos de DAP vs DB por tipo de vegetación se muestran en el Cuadro 21, que si bien fueron desarrollados para identificar las relaciones entre ambos diámetros para árboles vivos, se asume que esta relación también es válida en los muertos en pie.

Cuadro 21. Modelos utilizados para estimar el Diámetro Basa (DB) en función del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) con datos de la sub-muestra del Inventario Nacional y de Suelos 2004-2007.

Estrato	Modelo de ajuste	R2
Bosque Cultivado	$DB = 1.2839 DAP^{0.9755}$	0.96
Bosque de Coníferas		
Bosque de Encino	$DB = 0.0005 DAP^2 + 1.0383 DAP + 3.5632$	0.89
Bosque	$DB = 1.1087 DAP + 1.6469$	0.95

Mesófilo de Montaña		
Matorral Xerófilo	$DB = 1.0956 DAP + 2.632$	0.78
Selva Caducifolia	$DB = 0.000005 DAP^2 + 1.0946 DAP + 2.0015$	0.84
Selva Sub-Caducifolia	$DB = 1.1694 DAP$	0.93
Selva Perennifolia	$DB = -0.0002 DAP^2 + 1.1601 DAP + 0.3276$	0.95
Vegetación Hidrófila	$DB = -0.0001 DAP^2 + 1.089 DAP + 1.7866$	0.87

Una vez obtenido el volumen de los árboles muertos en pie a partir de la ecuación de volumen del cono evaluada en H y en DB estimado, se procedió a estimar la biomasa, para ello, el volumen estimado de los árboles muertos en pie se pondero por su respectiva densidad de madera. Cabe mencionar que en aquellos árboles muertos en pie a los que se les identifico su especie y/o género se les asigno su respectiva densidad de madera cuando se encontró disponible (Cuadro 16 del capítulo “4. Insumos” en la sección de “Base de Datos adicionales para el proceso de estimación”); en caso de no tener identificado la especie o género, se procedió a asignar una densidad de madera del tipo de vegetación. Esta densidad se obtuvo promediando las densidades de madera de las especies que conforman cada tipo de vegetación. Finalmente, el carbono de los árboles muertos en pie se obtuvo ponderando la biomasa estimada por la fracción de carbono (0.48).

6.1.1.4. Carbono almacenado en tocones

El carbono almacenado en tocones se obtuvo utilizando información dasométrica del INFyS y modelos simples de volumen para cilindros. En el segundo ciclo de muestreo del INFyS se midieron la frecuencia, altura, el diámetro y en algunos casos se identificó la especie/género de los tocones, esta información fue suficiente para calcular el volumen de los tocones para el periodo 2009-2013.

De manera específica, la materia orgánica muerta (MOM) de los tocones se estimó ponderando los volúmenes de los tocones por su respectiva densidad de la madera. La estimación del volumen de los tocones se aproximó con el cálculo del volumen de un cilindro (Ecuación 5) evaluado en el diámetro y altura de cada tocón registrados en el INFyS.

$$(V = (d^2 \times h) / 4\pi) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde: V = Volumen (m³)
d = Diámetro (m)
h = Altura (m)

Cabe mencionar que cuando no se contó con un dato de altura, se procedió a imputar un valor por defecto de 30cm. Después de estimar el volumen de cada tocón, se procedió a estimar la MOM ponderando el volumen estimado por la densidad de carbono. La asignación de la densidad de carbono se realizó de acuerdo al tipo de especie/genero si estos estaban identificados, en caso contrario, la densidad asignada fue la densidad promedio para el tipo de vegetación a la cual perteneció el tocón. Las estimaciones de la MOM de tocones para el segundo ciclo del INFyS se encuentran disponibles en internet.

6.1.1.5. Carbono del Material Leñoso Caído

El carbono del Material Leñoso Caído, sólo puede estimarse a nivel de UMP, ya que su cálculo proviene de la predicción de un modelo el cual reporta sus resultados por hectárea como unidad de superficie. Por esta razón, su proceso de estimación se muestra en la sección de “Estimación a nivel de unidad de muestreo”.

6.1.1.6. Carbono almacenado en hojarasca

Para estimar el carbono almacenado en el depósito de hojarasca se recurrió a las muestras de hojarasca y capa de fermentación levantadas en el re-muestreo del INFyS, específicamente para los años 2011 y 2012. Como se mostró el capítulo “4. Insumos” en la sección de “Base de Datos para el monitoreo Forestal”, en el INFyS se levantaron 8 muestras de hojarasca y capa de fermentación por UMP. En cada una de estas muestras se midió en campo: 1.- Espesor de la hojarasca (Eho) (mm), 2.- Capa de fermentación (Efe) (mm), 3.- Peso total de la hojarasca (Wth) (gr) y 4.- Capa de fermentación (Wtf) (gr). En aquellos casos donde la cantidad de hojarasca o capa de fermentación era considerable y el material colectado no podía ser contenido en la bolsa de muestreo, se colocó el material sobre una lona impermeable y se homogenizó para luego obtener una sub-muestra representativa que fuese suficiente para llenar la bolsa de 20x30 cm. De esta forma se registró el peso de la sub-muestra de hojarasca (Wmh) y de la capa de fermentación (Wmf), de tal forma que cuando se reportaron valores de sub-muestras, fueron calculados los pesos para toda la muestra.

Con esta información fue posible estimar tanto la densidad aparente de la hojarasca (Dah) como la de la capa de fermentación (Daf). Para estimar las densidades aparentes, primero fue necesario obtener el peso seco constante de la hojarasca (Wsh) y de la capa de fermentación (Wsf) considerando el peso de la muestra, los cuales se obtuvieron secando las muestras (Wth y Wtf) en estufa de secado hasta que su peso se mantuvo constante. A continuación se procedió a registrar el peso seco constante de la hojarasca (Wfh) y de la capa de fermentación (Wff) considerando el peso total (Ecuaciones 6 y 7):

$$Wfh = Wth * (Wsh / Wmh) \quad (Ec. 6)$$

$$Wff = Wtf * (Wsf / Wmf) \quad (Ec. 7)$$

Y posteriormente, se estima la densidad aparente de la hojarasca y de la capa de fermentación, (Ecuaciones 8 y 9):

$$Dah = (Wfh) / ((Eho/10) * 900) \quad (\text{Ec. 8})$$

$$Daf = (Wff) / ((Efe/10) * 900) \quad (\text{Ec. 9})$$

El carbono total en el depósito de hojarasca a nivel de la muestra en campo, resulta de la suma de la densidad aparente de la hojarasca y de la capa de fermentación ponderada por la fracción de carbono (0.48).

6.1.1.7. Carbono almacenado en la materia orgánica del suelo

Los Stocks de carbono se reportan en toneladas de carbono orgánico por hectárea a una profundidad de suelo hasta de 30 centímetros.

Tanto para perfiles como para barrenaciones se usa la Ecuación 3.2.16 indicada en la Orientación de las Guías de Buenas Prácticas (IPCC, 2003) para el sector CUTS (Ecuación 10).

$$COS = \sum_{\text{horizonte}=1}^{\text{horizonte}=n} COS_{\text{horizonte}} = \sum_{\text{horizonte}=1}^{\text{horizonte}=n} ([COS] * Densidad\ aparente * Profundidad\ d * (1 - frag) * 10)_{\text{horizonte}}$$

(Ec. 10)

Dónde:

COS, es el contenido de carbono orgánico del suelo, representativo de la subcategoría de vegetación (Ton C / ha⁻¹).

COS_{horizonte} o también **COS_{barrenado}**, es el contenido de carbono orgánico del suelo para un horizonte, capa o barrenado de suelo (Ton C / ha⁻¹).

[COS], es la concentración de carbono orgánico del suelo para una masa de suelo dada obtenida por análisis de laboratorio (gr / Kg _(Suelo)).

Densidad aparente, también llamada DA, es la masa de suelo por volumen de muestra (Ton _(Suelo) / M3) (equivalentes a Mg.m⁻³).

Profundidad, del horizonte, capa o del barreno (m).

frag, es el valor porcentual de fragmentos gruesos/100, sin dimensiones. Estos fragmentos se denominan gruesos porque no lograron entrar en un tamiz o malla número 10 (10 hilos cada pulgada con espaciamiento efectivo entre hilos de 2.00 milímetros).

En otros términos esta fórmula indica que el contenido total de COS se obtiene sumando el contenido ponderado de COS de cada capa, horizonte o barreno de suelo, el cual a su vez se calcula multiplicando la concentración de COS ($\text{gr/Kg}_{(\text{suelo})}$) de cada horizonte o barreno de suelo por la correspondiente profundidad y densidad aparente (Mg.m^{-3}), empleando ajustes para descartar el peso del suelo correspondiente a los fragmentos gruesos (pedregosidad interna).

6.1.2. Resultados

A continuación se presenta en el cuadro 22 un ejemplo de cómo se reportan los resultados a nivel de observación dentro del sistema de consulta.

Cuadro 22. Consulta de resultados a nivel de Observación.

depósito ipcc 1	Biomasa Viva	Biomasa Viva	Materia Orgánica Muerta	Biomasa Viva
depósito ipcc 2	Biomasa sobre el suelo	Biomasa sobre el suelo	Madera muerta	Biomasa sobre el suelo
depósito ipcc 3	Biomasa sobre el suelo	Biomasa sobre el suelo	Madera muerta en pie	Biomasa sobre el suelo
numero conglomerado	10054	10054	10054	10054
sección infys	Arbolado	Arbolado	Arbolado	Arbolado
numero sitio	1	1	1	1
numero registro	1	2	3	7
numero árbol	1	2	3	7
familia	Fagaceae	Fagaceae	Fagaceae	Cupressaceae
nombre científico	Quercus arizonica var. wootoni	Quercus arizonica var. wootoni	Quercus arizonica var. wootoni	Juniperus deppeana var. robusta
condición	VIVO	VIVO	MUERTO PIE	VIVO
diámetro normal	18	17.7999992	29.2999992	12.8000002
diámetro normal depurado	18	17.7999992	29.2999992	12.8000002
altura total	5.69999981	6.19999981	5	5.0999999
altura total depurada	5.69999981	6.19999981	5	5.0999999
se utilizó para contar biomasa	Si	Si	Si	Si
versión calculo	20	20	20	20
fecha calculo	2014:03:14 10:46.8	2014:03:14 10:46.9	2014:03:14 10:44.7	2014:03:14 10:45.3
modelo alométrico	$(\text{Exp}(-2.754) * d^{130^{2.574}})$	$(\text{Exp}(-2.754) * d^{130^{2.574}})$	$(1000 * (P * V) ^1)$	$(0.5 + ((25000 * d^{130^{2.5}}) / (d^{130^{2.5}} + 246872)))$
referencia modelo alométrico	Návar, J. 2010. Alometría para biomasa en especies arbóreas del noroeste de México. Tropical and	Návar, J. 2010. Alometría para biomasa en especies arbóreas del noroeste de México. Tropical	NULL	Schlamadinger, B., K. Boonpragob, H. Janzen, W. Kurz, R. Lasco y P. Smith. 2003. Métodos complementarios y

	Subtropical Agroecosystems (12): 507-519.	and Subtropical Agroecosystems (12): 507-519.		orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto. Capítulo 4. Interg
tipo modelo alométrico	genero	genero	global	vegetación
densidad de madera	NULL	NULL	1.07021	NULL
referencia densidad de madera	NULL	NULL	NULL	NULL
diámetro basal estimado	NULL	NULL	34.4149	NULL
biomasa aérea estimada	0.108399	0.105326	0.00482118	0.0597193
fracción carbono	(0.4843*B^1)	(0.4843*B^1)	(0.4843*B^1)	(0.436*B^1)
tipo fracción carbono	genero	genero	genero	vegetación
carbono aéreo estimado	0.0524976	0.0510094	0.0023349	0.0260376
id levantamiento	530168	530168	530168	530168
id calculo modelo arbolado	1275782	1275783	1275764	1275768
id unidad muestreo	18877	18877	18877	18877
tipificación	Inicial	Inicial	Inicial	Inicial
latitud	29.4364167	29.4364167	29.4364167	29.4364167
longitud	-108.654194	-108.654194	-108.654194	-108.654194
año levantamiento	2009	2009	2009	2009

6.1.2.1. Características de la Base de Datos a Nivel de Observación

Las bases de datos a nivel de observación contienen la estructura que se presenta en el cuadro 23:

Cuadro 23. Estructura de la base de datos de la consulta a nivel de observación.

Sección	Nombre del campo	Tipo de campo/Unidades	Definición
Almacén IPCC	Depósito Nivel 1 (IPCC)	Nominal	Biomasa Viva, Materia orgánica muerta, Suelos
	Depósito Nivel 2 (IPCC) 3 de 5 almacenes de carbono	Nominal	1) Biomasa sobre el suelo (>= 7.5 cm DN en 400m2), 2) Biomasa bajo el suelo (a partir de BSS en 400m2), 3) Madera muerta (muertos en pie y tocones en 400m2)

	Depósito Nivel 3 (IPCC)	Nominal	1) Biomasa sobre el suelo, 2) Biomasa bajo el suelo, 3.1) Madera muerta en pie , 3.2) Madera muerta superficial (tocones)
INFyS- CONAFOR	ID de Conglomerado	Numérico	Número del conglomerado según el INFyS
	Sección del INFyS	Nominal	Arbolado/Vegetación Mayor. Los registros vivos se registran para todos los ecosistemas, los registros muertos en pies y tocones se registran únicamente para Bosques y Selvas
	ID de Sitio	Numérico	Identificador del sitio de acuerdo al INFyS (4 sitios máximo)
	Registro	Numérico	Número de registro. Se refiere a la rama o tallo.
	Número de árbol	Numérico	Número de árbol. Las versiones recientes del INFyS incluyeron estas variables
	Nombre científico original	Nominal	Nombre científico tal y como aparece en el INFyS
FRyCSS-CC	Familia	Nominal	Nombre de la familia botánica
	Nombre científico depurado	Nominal: Binomio o trinomio más categoría infraespecífica, separado por un espacio	Nombre científico depurado, es decir utilizando el nombre aceptado
INFyS- CONAFOR	Condición	Nominal	Vivo, muerto, tocón
	Diámetro normal	Numérico/centímetros	Diámetro normal tal y como aparece en el INFyS
FRyCSS-CC	Diámetro normal depurado	Numérico/centímetros	Diámetro normal después del proceso de estandarización
INFyS- CONAFOR	Altura total	Numérico/metros	Altura total tal y como aparece en el INFyS
FRyCSS-CC	Altura total depurada	Numérico/metros	Altura total después del proceso de estandarización
FRyCSS-INT	Estimación de Biomasa (si/no)	Nominal (si/no)	Indica si a la observación se le calculó biomasa.
	Versión de cálculo	Numérico	Versión de cálculo del proceso de estimación

	Fecha de cálculo	Fecha/dd-mm-aaaa	Fecha de elaboración de la estimación
FRyCSS-EXT	MODELO por arriba del suelo	Nominal	Modelo alométrico de biomasa, modelo de cono, modelo de cilindro
	Referencia modelo por arriba del suelo	Nominal	Fuente del modelo
	Tipo de MODELO	Nominal	Tipo de modelo utilizado para la estimación de la biomasa: por especie, por género, por tipo de vegetación.
	Usa altura el modelo (Si/No)	Nominal (si/no)	Variable binaria (si/no) en caso de que el modelo utilice la altura
	Usa diámetro el modelo (Si/No)	Nominal (si/no)	Variable binaria (si/no) en caso de que el modelo utilice el diámetro
	Valor de densidad de la madera	Numérico/ g/cm ³	Valor de densidad de la madera expresado en peso seco/volumen verde, necesario para el modelo alométrico por tipo de vegetación
	Referencia del valor de densidad de la madera	Nominal	Fuente del valor de densidad de la madera
	FRyCSS-INT	Diámetro estimado a la base	Numérico/centímetros
FRyCSS-ESTIMACIÓN	Biomasa calculada por ARRIBA del suelo	Numérico/ kilogramos	ESTIMACIÓN BIOMASA ARRIBA DEL SUELO
FRyCSS-EXT	Fracción de Carbono	Numérico	Fracción utilizada para transformar biomasa a carbono
	Tipo de Fracción de Carbono utilizada	Nominal	Se refiere al tipo de fracción utilizada para transformar biomasa a carbono: específica o generada a partir de valores conocidas
	Referencia de Fracción de carbono	Nominal	Fuente de la fracción de carbono
FRyCSS-ESTIMACIÓN	Carbono calculado por ARRIBA del suelo	Numérico/ kilogramos	ESTIMACIÓN CARBONO ARRIBA DEL SUELO
FRyCSS-EXT	Modelo por ABAJO del Suelo	Nominal	Tipo de modelo utilizado para estimar la biomasa o

			carbono por abajo del suelo
	Referencia modelo por ABAJO del suelo	Nominal	Fuente del modelo utilizado para estimar biomasa por debajo del suelo
FRyCSS-ESTIMACIÓN	Biomasa calculada por ABAJO del suelo	Numérico/ kilogramos	ESTIMACIÓN BIOMASA ABAJO DEL SUELO
	Carbono calculado por ABAJO del suelo	Numérico/ kilogramos	ESTIMACIÓN CARBONO ABAJO DEL SUELO

6.1.2.2. Base de Datos de Estimación a Nivel de Observación (liga internet)

Interface de reporte de estimaciones (Geoportal o Cliente)

<http://madmex.conabio.gob.mx/SINAMEF>

Plataforma de visualización de estimaciones del Sistema Integrado (Geoportal)

<http://webportal.conabio.gob.mx:8085/pmn/>

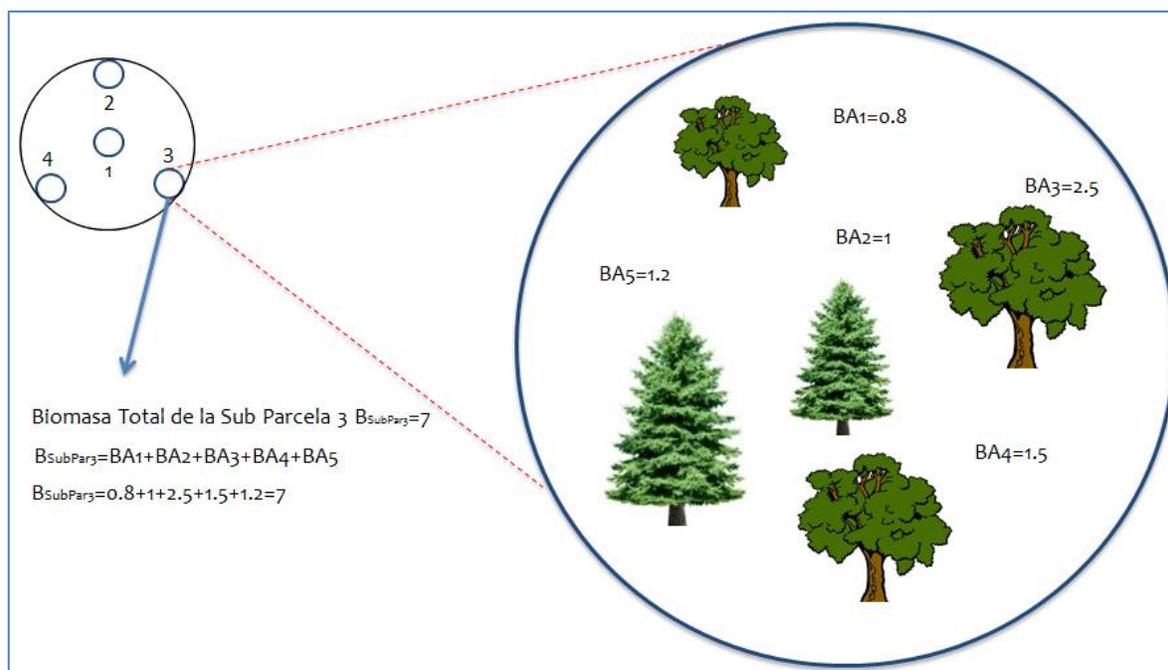
6.2. Estimaciones a Nivel de Unidad de Muestreo (Arbolado Vivo, Arbolado Muerto en Pie, Tocones, Material Leñoso Caído, Hojarasca y Suelo).

6.2.1. Métodos

6.2.1.1. Carbono de la biomasa del arbolado vivo

La unidad de muestreo considerada para el carbono del arbolado vivo es la UMS y para estimarla, primero se partió de la estimación del carbono de la biomasa viva a nivel de árbol, como se mostró en la sección “Estimación a nivel de observación” de este mismo capítulo. Posteriormente, se procedió a obtener el carbono de la biomasa viva a nivel de UMS, lo cual se logró a través de la suma del carbono de todos los árboles de cada UMS (Figura 18).

Figura 18. Estimación de la biomasa aérea viva total a nivel de sub-parcela



6.2.1.2. Carbono de la biomasa subterránea

La unidad de muestreo considerada para la biomasa subterránea fue la UMS. Para su cuantificación, se emplearon las ecuaciones alométricas de Cairns et al. (1997) como una función de la biomasa por encima del suelo y por tipo de ecosistema, mediante las ecuaciones 11 y 12:

$$Y = \exp[(-1.0587) + (0.8836 * \ln(BA)) + 0.2840] \quad (\text{Ec. 11})$$

$$Y = \exp[(-1.0587) + (0.8836 * \ln(BA))] \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

Y = biomasa por debajo del suelo (raíces), (toneladas de materia seca por ha),
 BA = biomasa por encima del suelo, (toneladas de materia seca por ha).

La ecuación 11 se aplicó a bosques templados y la ecuación 12 a bosques tropicales (selvas).

Las estimaciones de la biomasa subterránea obtenidas con los modelos propuestos por Cairns et al. (1997) reportan sus resultados a nivel de toneladas de materia seca por hectárea. Para reportar estas estimaciones a nivel de UMS se procedió a ponderar las estimaciones por el inverso del Factor de Expansión (FEx). Los FEx se obtuvieron dividiendo el área representada en la UMP entre el área real muestreada ($10000/[0.04 * \text{Número de UMS levantadas por UMP}]$).

A la biomasa obtenida a nivel de UMS, se le asignó una fracción de carbono de forma diferenciada a cada registro (especie, género y grupo vegetal) de 56 fracciones de carbono para especies del país encontradas en la literatura mostradas en el Cuadro 16.

6.2.1.3. Carbono de los árboles muertos en pie

La unidad de muestreo del carbono de la MOM de los árboles muertos en pie es la UMS. Para obtener su estimación a este nivel, se procedió a sumar el carbono de la MOM de los árboles muertos en pie de cada UMS de manera análoga a lo realizado en la biomasa aérea.

6.2.1.4. Carbono almacenado en tocones

La unidad de muestreo del carbono de la MOM de los tocones es la UMS. Para obtener su estimación a este nivel, se procedió a sumar el carbono de la MOM de los tocones de cada UMS de manera análoga a lo realizado en la biomasa aérea.

6.2.1.5. Carbono del Material Leñoso Caído

6.2.1.5.1. Insumos

Para la estimación del carbono del Material Leñoso Caído (MLC) a nivel de UMP, se cuenta con los datos del INFyS, en el que se miden diámetros, grados de putrefacción y frecuencias de MLC encontrado en transectos de 5 y 15 m dependiendo del diámetro del MLC (los detalles de las variables utilizadas, manipulación y manejo de las bases de datos se pueden ver en el capítulo “4. Insumos” en la sección de “Base de Datos para el Monitoreo Forestal”). La información disponible para la cuantificación del MLC del INFyS tiene dos características en su forma de levantamiento en campo que están en función del diámetro del material encontrado a lo largo del transecto. Para aquel MLC con diámetro mayor a 7.5cm se le midió el diámetro, frecuencia y grado de putrefacción; mientras que para el MLC menor a 7.5cm sólo se registró su frecuencia por transecto (Cuadro 24).

Cuadro 24 .Clasificación del combustible por tamaño y tiempo de respuesta o retardo.

Categoría	Diámetro (cm)	Tiempo de Respuesta
Finos	< 0.06	1 hora
Regulares	0.06 – 2.5	10 horas
Medianos	2.6 – 7.6	100 horas
Gruesos	>7.6	1,000 horas

Es necesario tener en cuenta la diferencia entre las dos formas de levantamiento de la información ya que esto implica algunas modificaciones en los procesos de estimación del carbono almacenado en el MLC.

6.2.1.5.2. Método para la estimación de la materia orgánica muerta del MLC a nivel de UMP

Como lo sugiere Morfín (2012), utilizando los datos del INFyS es posible estimar la materia orgánica muerta (MOM) del MLC con diámetro mayor a 7.5cm (1,000 hrs) siguiendo la ecuación de Van Wagner (1982) (Ecuación 13):

$$C = \frac{k \times GE \times \sum_1^n d_i^2 \times c}{L} \quad (\text{Ec. 13})$$

Dónde:

C: Materia orgánica muerta del MLC (Mg ha⁻¹)

k: Constante equivalente (1.234)

GE: Gravedad específica

d_i: 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

$$\text{Dónde: } c = \sqrt{1 + \left(\frac{\% \text{ pendiente}}{100}\right)^2}$$

De manera análoga, es posible estimar la materia orgánica muerta del MLC con diámetro menores a 7.5cm (1, 10 y 100 hrs) a partir de la ecuación 14:

$$C = \frac{k \times GE \times dcp \times f \times c}{L} \quad (\text{Ec. 14})$$

Dónde:

C: Carga combustible (Mg ha⁻¹)

k: Constante equivalente (1.234)

GE: Gravedad específica

dcp: Diámetro cuadrático promedio de las piezas (cm) de cada categoría (1h, 10h o 100h).

f: Frecuencia de las partículas intersectadas (1h, 10h o 100h)

c: Factores de corrección de la pendiente en una base horizontal (definida previamente)

L: Longitud del transecto (m)

Los *dcp* del MLC con diámetros menores a 7.5cm se obtuvieron con información de la sub-muestra y fueron estimados por tipo de vegetación promediando los cuadrados de los diámetros del MLC. Se utilizó esta aproximación debido a que en el INFyS no se miden los diámetros de las piezas menores a 7.5cm.

Después de definir los estimadores del carbono almacenado en el MLC, se procedió a estimarlo a nivel de UMP para cada rango diamétrico (1h, 10h, 100h o 1,000h). Para ello, se sumaron todos los

transectos de cada UMP y su MLC se consideró como parte de una sola línea, por lo que la *longitud de transecto* (para la estimación) fue la suma de todos los transectos de la UMP. Una vez agregada la información a nivel de UMP, se procedió a estimar la MOM del MLC por rango diamétrico utilizando los estimadores correspondientes mostrados previamente.

Estimación de incertidumbres de la materia muerta del MLC a nivel de UMP

Para la estimación de las incertidumbres de los modelos propuestos por Van Wagner (1982) es necesario remontarse a las bases conceptuales del muestreo de líneas de intersección. De acuerdo con (De Vries, 1986), un estimador insesgado del total de cualquier propiedad cuantificable de un elemento muestreado en **un transecto** (sólo una línea de muestreo) está dada por la ecuación 15:

$$\hat{X} = \frac{\pi}{2L} \sum_1^n \frac{x_i}{l_i} \quad (\text{Ec. 15})$$

Dónde:

\hat{X} : valor del total de cualquier propiedad cuantificable de un elemento muestreado en un transecto

L : Longitud del transecto

x_i : propiedad cuantificable de un elemento muestreado en un transecto

l_i : longitud del elemento muestreado en un transecto

n : número de elementos muestreados en el transecto

Si nuestro elemento cuantificable de interés es el volumen (v_i) entonces se explica en la ecuación 16:

$$x_i = v_i = \frac{\pi \times d_i^2}{4} \times l_i \quad (\text{Ec. 16})$$

Por lo que al sustituir la ecuación 16 (x_i) en la ecuación 15 obtenemos la ecuación 17:

$$\widehat{Vtot} = \frac{\pi}{2L} \sum_1^n \frac{\left(\frac{\pi \times d_i^2}{4} \times l_i\right)}{l_i} \quad (\text{Ec. 17})$$

La cual se simplifica en la ecuación 18:

$$\widehat{Vtot} = \left(\frac{\pi^2}{8L}\right) \sum_1^n d_i^2 = \frac{1.234}{L} \sum_1^n d_i^2 \quad (\text{Ec. 18})$$

Que al ponderar por la gravedad específica (GE) y la factores de corrección de la pendiente en una base horizontal (c) obtenemos la expresión propuesta por Van Wagner (1982) para el MLC con diámetros mayores a 7.5cm.

Siguiendo este mismo razonamiento, De Vries (1986) definió la varianza para el estimador del total (\hat{X}) de cualquier propiedad cuantificable de un elemento muestreado en **un transecto** (sólo para una línea de muestreo) y está dada por la ecuación 19:

$$Var\hat{X} = \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 \sum_1^n \left(\frac{x_i}{l_i}\right)^2 \quad (Ec. 19)$$

Sabemos que nuestro elemento cuantificable de interés es el volumen (v_i) definido en la Ec. 19, por lo que al sustituir esta expresión en la Ecuación 20, obtenemos:

$$Var\hat{X} = \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 \sum_1^n \left(\frac{\left(\frac{\pi \times d_i^2}{4} \times l_i\right)}{l_i}\right)^2 \quad (Ec. 20)$$

Lo que se simplifica en la ecuación 21:

$$Var\widehat{Vtot} = \frac{\pi^4}{64L^2} \sum(d_i^2)^2 \quad (Ec. 21)$$

Por lo tanto, a partir de la Ec. 21 es posible obtener la varianza del estimador del volumen total por unidad de área para un transecto (para MLC de diámetros mayores a 7.5cm). Para obtener la varianza del estimador de la MOM del MLC sólo será necesario ponderar mediante la ecuación 21 por el cuadrado de la GE y c (debido a las propiedades de la varianza en el caso de las constantes).

Para el caso de los diámetros menores a 7.5cm la ecuación 21 se modifica a la ecuación 22:

$$Var\widehat{Vtot} = \frac{\pi^4 n}{64L^2} \left(\frac{\sum(d_i^2)^2}{n}\right) = \frac{\pi^4 n}{64L^2} d \quad (Ec. 22)$$

Dónde d es el promedio de los diámetros a la cuarta potencia reportados en la sub-muestra.

Por lo tanto, a partir de la Ec. 22 es posible obtener la varianza del estimador del volumen total por unidad de área para un transecto (para MLC de diámetros menores a 7.5cm). Para obtener la varianza del estimador de la biomasa del MLC de diámetros menores a 7.5, sólo será necesario ponderar la Ec. 22 por el cuadrado de la GE y c (debido a las propiedades de la varianza en el caso de las constantes).

6.2.1.6. Carbono almacenado en hojarasca

La unidad de muestreo del carbono almacenado en la MOM de lo hojarasca es la UMS. Esto se debe a que el INFyS (2011-2012) cuenta con datos de hojarasca en el UMS número tres de cada UMP. Como se mencionó en la sección de "Estimaciones a nivel de observación", en la UMS número 3 se recolectó información de la hojarasca en 8 parcelas (cada una de ellas con superficie de 0.9m²) en las que se estimaron el Dah y el Daf a nivel de los 0.9m². Por lo tanto, el Dah y el Daf

se agregaron a nivel de UMS sumando sus respectivos valores a nivel de UMS, de manera que la superficie total de muestreo a nivel de UMS idealmente fue de 7.2m² (0.9m² x 8 parcelas).

6.2.1.7. Carbono almacenado en la materia orgánica del suelo

La unidad de muestreo del carbono de la materia orgánica del suelo es la hectárea. En este caso particular, la unidad de muestreo no es ni la UMS ni la UMP debido a que los insumos utilizados para su cálculo provienen de diferentes inventarios con distintas características. Por lo tanto, los almacenes de carbono se reportan en toneladas de carbono orgánico por hectárea en una profundidad de suelo hasta de 30 centímetros. Para obtener este cálculo es necesario conocer previamente: la concentración de carbono orgánico del suelo para una masa de suelo, la densidad aparente y el valor porcentual de fragmentos gruesos de la muestra tomada en campo cuyo proceso de estimación se muestra detalladamente en la sección de “Estimación a nivel de observación”.

6.2.1.8. Características de la Base de Datos a Nivel de Observación

Las bases de datos a nivel de observación contienen la estructura que se presenta en el cuadro 25:

Cuadro 25. Estructura de la base de datos de la consulta a nivel de observación.

Sección	Nombre del campo	Tipo de campo/Unidad	Definición
Almacén IPCC	Depósito Nivel 1 (IPCC)	Nominal	Biomasa Viva, Materia orgánica muerta
	Depósito Nivel 2 (IPCC) 3 de 5 almacenes de carbono	Nominal	1) Biomasa sobre el suelo (>= 7.5 cm DN en 400m ²), 2) Biomasa bajo el suelo (a partir de BSS en 400m ²), 3) Madera muerta (muertos en pie y tocones en 400m ²)
	Depósito Nivel 3 (IPCC)	Nominal	1) Biomasa sobre el suelo, 2) Biomasa bajo el suelo, 3.1) Madera muerta en pie, 3.2) Madera muerta superficial (tocones)
INFyS-CONAFOR	ID de Conglomerado	Numérico	Identificador del conglomerado según el INFyS
	Sección del INFyS	Nominal	Arbolado/Vegetación Mayor. Los registros vivos se registran para todos los ecosistemas, los registros muertos en pies y tocones se registran únicamente para Bosques y Selvas
	ID de Sitio	Numérico	Identificador del sitio de acuerdo al INFyS (4 sitios máximo)
	TALLOS TOTALES	Numérico	Frecuencia de registros totales incluidos en la tabla de arbolado o vegetación mayor. Incluye vivos, muertos y tocones.
	Árboles (individuos) TOTALES	Numérico	Frecuencia de árboles o individuos totales, independientemente de la cantidad de registros, ramas o tallos en cada uno de ellos.

RIQUEZA	Riqueza de Familias (considerando tallos)	Numérico	Número de familias. Considera la depuración de nombres.
	Riqueza de Especies (considerando tallos)	Numérico	Número de especies. Considera la depuración de nombres.
TALLOS	Tallos de VIVOS	Numérico	Frecuencia de registros VIVOS TOTALES, independientemente de su uso para la estimación.
	Tallos de MUERTOS	Numérico	Frecuencia de registros MUERTOS TOTALES, independientemente de su uso para la estimación.
	Tallos de TOCONES	Numérico	Frecuencia de registros TOCONES, independientemente de su uso para la estimación.
DIÁMETRO	Media de Diámetro de TOCONES	Numérico/centímetros	Promedio de diámetro de registros TOCONES
	Media de Diámetro Normal de Tallos VIVOS	Numérico/centímetros	Promedio de diámetro normal de registros VIVOS
	Media de Diámetro Normal de Tallos MUERTOS	Numérico/centímetros	Promedio de diámetro normal de registros MUERTOS
ÁREA BASAL	Área Basal de TOCONES	Numérico/centímetros cuadrados	Área basal (a partir de la medida de diámetro del tocón) de TOCONES
	Área basal de VIVOS	Numérico/centímetros cuadrados	Área basal de registros VIVOS
	Área basal de MUERTOS	Numérico/centímetros cuadrados	Área basal de registros MUERTOS.
ALTURA TOTAL	Media de ALTURA TOTAL de TOCONES	Numérico/metros	Promedio de ALTURA TOTAL de registros TOCONES
	Media de ALTURA TOTAL de Tallos VIVOS	Numérico/metros	Promedio de ALTURA TOTAL de registros VIVOS
	Media de ALTURA TOTAL de Tallos MUERTOS	Numérico/metros	Promedio de ALTURA TOTAL de registros MUERTOS
Estimación de BIOMASA y CARBONO. Se excluyen grupos especiales no leñosos*	Versión de Cálculo	Numérico	Versión de cálculo del proceso de estimación
	Fecha de cálculo	Fecha/dd-mm-aaaa	Fecha de elaboración de la estimación
	Tallos TOTALES p Est	Numérico	Suma de Tallos para estimación (Vivos, muertos y tocones). Se excluyen los siguientes taxones: *Grupos especiales no leñosos: Agavaceae (ejemplos Dracaena, Dasylirion, Furcraea, Nolina, Yucca), Cyatheaceae (ejemplos Cyathea, Alsophila), Cactaceae, Nolinaceae (Beaucarnea, Nolina, Dasylirion), Cyclanthaceae, Arecaceae (todas

		las Palmas), Poaceae (ejemplos Bambusa, Otatea, Guadua), Cycadaceae, Euphorbia canariensis, Fouquieria columnaris.
Tallos de VIVOS p Est	Numérico	Frecuencia de registros VIVOS TOTALES utilizados para la estimación
Tallos de MUERTOS p Est	Numérico	Frecuencia de registros MUERTOS TOTALES utilizados para la estimación
Registros de TOCONES p Est	Numérico	Frecuencia de registros TOCONES utilizados para la estimación
Media de Diámetro de TOCONES p Est	Numérico/centímetros	Promedio de diámetro de registros TOCONES utilizados para la estimación
Media de Diámetro Normal de Tallos VIVOS p Est	Numérico/centímetros	Promedio de diámetro normal de registros VIVOS utilizados para la estimación
Media de Diámetro Normal de Tallos MUERTOS p Est	Numérico/centímetros	Promedio de diámetro normal de registros MUERTOS utilizados para la estimación
Área Basal de TOCONES p Est	Numérico/centímetros cuadrados	Área basal (a partir de la medida de diámetro del tocón) de TOCONES utilizados para la estimación.
Área basal de VIVOS p Est	Numérico/centímetros cuadrados	Área basal de registros VIVOS utilizados para la estimación.
Área basal de MUERTOS p Est	Numérico/centímetros cuadrados	Área basal de registros MUERTOS utilizados para la estimación.
Media de ALTURA TOTAL de TOCONES p Est	Numérico/metros	Promedio de ALTURA TOTAL de registros TOCONES utilizados para la estimación.
Media de ALTURA TOTAL de Tallos VIVOS p Est	Numérico/metros	Promedio de ALTURA TOTAL de registros VIVOS utilizados para la estimación.
Media de ALTURA TOTAL de Tallos MUERTOS p Est	Numérico/metros	Promedio de ALTURA TOTAL de registros MUERTOS utilizados para la estimación.
Biomasa VIVOS	Numérico/toneladas	Estimación de Biomasa de tallos vivos
Biomasa MUERTOS	Numérico/toneladas	Estimación de Biomasa de tallos muertos en pie
Biomasa TOCONES	Numérico/toneladas	Estimación de Biomasa de tocones
Biomasa Madera Muerta (MUERTOS más TOCONES)	Numérico/toneladas	Estimación de Biomasa de Materia muerta (muertos y tocones)
Biomasa RAICES (Solo VIVOS)	Numérico/toneladas	Estimación de Biomasa de Raíces a partir de tallos vivos
Carbono VIVOS	Numérico/toneladas	Estimación de Carbono de tallos vivos

		adas	
	Carbono MUERTOS	Numérico/toneladas	Estimación de Carbono de tallos muertos en pie
	Carbono TOCONES	Numérico/toneladas	Estimación de Carbono de tocones
	Carbono Madera Muerta (MUERTOS mas TOCONES)	Numérico/toneladas	Estimación de Carbono de Materia muerta (muertos y tocones)
	Carbono RAICES (Solo VIVOS)	Numérico/toneladas	Estimación de Carbono de Raíces a partir de tallos vivos

6.2.1.9. Base de Datos (liga internet)

Interface de reporte de estimaciones (Geoportal o Cliente)

<http://madmex.conabio.gob.mx/SINAMEF>

Plataforma de visualización de estimaciones del Sistema Integrado (Geoportal)

<http://webportal.conabio.gob.mx:8085/pmn/>

6.3. Estimaciones a Nivel de Clase (Arbolado Vivo, Arbolado Muerto en Pie, Tocones, Material Leñoso Caído, Mantillo y Suelo).

6.3.1. Métodos

6.3.1.1. Biomasa Aérea de Arbolado Vivo

6.3.1.1.1. Factores de emisión para arbolado vivo de “Tierras Forestales” que pasaron a “Otras Tierras”

6.3.1.1.1.1. Insumos

Para la estimación de los FE utilizados para obtener las emisiones de las “Tierras Forestales” que pasaron a “Otras Tierras” se calcularon las densidades de carbono de la biomasa aérea para cada una de las clases definidas en la sección “5.1. Determinación de las Clases para la Estimación de Factores de Emisión”. Cabe mencionar que, se estimaron las densidades de carbono como Factores de Emisión (FE) bajo el supuesto de que en los procesos de cambio de uso de suelo se pierde todo el almacén de carbono de la biomasa aérea de la clase analizada.

Las densidades de carbono de la biomasa aérea por clase de cobertura parten de dos insumos básicos: por un lado de la estimación de carbono a nivel de sub-parcela y por otro de las clases de cobertura definidas previamente. La estimación de carbono a nivel de UMS se estimó utilizando los datos dasométricos del primer ciclo (2004-2007) del INFyS y los procesos de estimación de la

biomasa aérea mostrados en la sección de “Estimación de la biomasa aérea del arbolado vivo a nivel de UMS”. Por otro lado, las UMS se agruparon en las 24 clases definidas en la sección de 5.1 para el mapa de tipos de vegetación del INEGI Serie IV (2007).

6.3.1.1.1.2. Metodología

En los procesos de estimación de los FE se emplearon los datos de carbono de 82,698 UMS de las 104,880 UMS que cuenta el inventario, debido a que sólo se utilizó un subconjunto de UMS cuya clase de cobertura perteneció a “Tierras Forestales/Praderas” y que su tipificación de levantamiento de campo fue “inicial/remplazo o monitoreo”. La definición de tierra forestal/pastizal sigue la clasificación de tierras del IPCC y además, se basa en las definiciones establecidas en la sección 5.1 (Cuadro 26). Por otro lado, dentro del subconjunto de UMP que pertenecieron a “Tierras Forestales/Praderas” se seleccionaron aquellas que fueron levantadas en las coordenadas planeadas (Tipificación=Inicial) o bien aquellas que fueron levantadas en sitios cercanos al planeado (Tipificación=Remplazo); además, para el caso de las UMS pertenecientes a “Praderas” pero que no fueron levantadas en campo (Tipificación=Monitores) se le asignó un valor de cero al carbono de lo biomasa aérea y se agregó a la contabilidad de UMS utilizadas para la estimación de los FE.

Cuadro 26. Tabla de correspondencia entre las clases de uso de suelo y las clases del IPCC

Clase de Uso de Suelo	Clave Clase de Uso de Suelo	Clase IPCC
Asentamientos Humanos	AH	Asentamientos
Acuicultura	ACUI	Humedales
Cuerpo de Agua	H2O	Humedales
No Aplica	NA	No Aplica
Vacío	null	null
Otras Tierras	OT	Otras Tierras
Especial Otros Tipos no Leñosos Primario	EOTnL/P	Praderas
Especial Otros Tipos no Leñosos Secundario	EOTnL/S	Praderas
Matorral Xerófilo no Leñoso Primario	MXnL/P	Praderas
Matorral Xerófilo no Leñoso Secundario	MXnL/S	Praderas
Pastizal	P	Praderas
Vegetación Hidrófila no Leñosa Primaria	VHnL/P	Praderas
Vegetación Hidrófila no Leñosa Secundaria	VHnL/S	Praderas
Agricultura	AGR	Tierras Agrícolas
Bosque Cultivado	BC	Tierras Forestales
Bosque de Coníferas Primario	BCO/P	Tierras Forestales
Bosque de Coníferas Secundario	BCO/S	Tierras Forestales
Bosque de Encino Primario	BE/P	Tierras Forestales
Bosque de Encino Secundario	BE/S	Tierras Forestales

Bosque Mesófilo Primario	BM/P	Tierras Forestales
Bosque Mesófilo Secundario	BM/S	Tierras Forestales
Especial Otros Tipos Leñoso Primario	EOTL/P	Tierras Forestales
Especial Otros Tipos Leñoso Secundario	EOTL/S	Tierras Forestales
Matorral Xerófilo Leñoso Primario	MXL/P	Tierras Forestales
Matorral Xerófilo Leñoso Secundario	MXL/S	Tierras Forestales
Selva Caducifolia Primaria	SC/P	Tierras Forestales
Selva Caducifolia Secundaria	SC/S	Tierras Forestales
Selva Perennifolia Primaria	SP/P	Tierras Forestales
Selva Perennifolia Secundaria	SP/S	Tierras Forestales
Selva Sub-Caducifolia Primaria	SSC/P	Tierras Forestales
Selva Sub-Caducifolia Secundaria	SSC/S	Tierras Forestales
Vegetación Hidrófila Leñosa Primaria	VHL/P	Tierras Forestales
Vegetación Hidrófila Leñosa Secundaria	VHL/S	Tierras Forestales

Con el subconjunto de parcelas definidas previamente y con la variable de *carbono de la biomasa aérea* a nivel de UMS se procedió a obtener los estimadores de los FE y sus incertidumbres. Para ello, se utilizó el estimador de “Razón” propuesto por Velasco-Bautista *et al.* (2003) para obtener estimadores insesgados de variables forestales a partir de diseño muestral del INFyS que es un muestreo estratificado sistemático por conglomerados en dos etapas. La expresión de este estimador se muestra en la Ecuación 23:

$$\hat{R}_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} y_{ik}}{\sum_{i=1}^{n_k} a_{ik}} \quad (\text{Ec. 23})$$

Dónde:

- \hat{R}_k = Estimador del almacén de carbono de la clase k
- y_{ik} = Almacén total de carbono en la UMS i de la clase k
- a_{ik} = Superficie muestreada en la UMS i (400m^2) de la clase k
- n_k = Número total de UMS en la clase k

Par estimar la incertidumbre, se siguieron las directrices del IPCC 2006. De tal manera que en la Ecuación 24, se muestra la expresión utilizada para estimarlas:

$$U_k = \frac{IC_{k/2}}{\hat{R}_k} \times 100 \quad (\text{Ec. 24})$$

Dónde:

- U_k : Incertidumbre del estimador de carbono de la clase k

\bar{R}_k : estimador de carbono de la clase k

IC_k: Intervalo del estimador de carbono \bar{R}_k de la clase k

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

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

Y la $\hat{V}(\hat{R}_k)$ esta está definida como se muestra en la Ecuación 25 (Velasco-Bautista *et al.*, 2003):

$$\hat{V}(\hat{R}_k) = \left(\frac{1}{n_k(n_k-1)\bar{a}^2} \right) \left(\sum_{i=1}^{n_k} y_{ik}^2 - 2 \hat{R}_k \sum_{i=1}^{n_k} y_{ik} a_{ik} + \hat{R}_k^2 \sum_{i=1}^{n_k} a_{ik}^2 \right) \quad \text{Ec (25)}$$

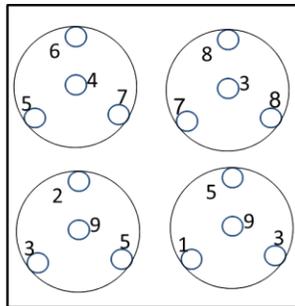
Dónde:

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

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

El proceso de estimación de los estimadores de razón se ejemplifica en la Figura 19

Figura 19. Esquema del grupo de parcelas que conforman un estrato y como se agregan para cuantificar la biomasa y carbono usando los estimadores de “razón”.



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

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

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

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

6.3.1.1.2. Factores de emisión para arbolado vivo de “Tierras Forestales” que permanecen como tales

6.3.1.1.2.1. Insumos

Para estimar los FE de las “Tierras Forestales” que permanecieron como “Tierras Forestales” o bien “Praderas” que permanecieron como “Praderas” se empleó el enfoque de diferencias de existencias las GBP 2006, que el IPCC sugiere utilizar cuando se cuentan con datos de un inventario

en dos tiempos distintos y la muestra es representativa a nivel nacional. Por lo que para implementar este método fue necesario contar con estimaciones de carbono dos ciclos de un inventario forestal y dos mapas de cobertura de la tierra que sean correspondientes con los ciclos del inventario.

Por lo tanto para implementar el enfoque de cambios en las existencias del IPCC, se utilizaron las estimaciones de biomasa aérea a nivel del UMS del primer (2004-2007) y segundo ciclo (2008-2013) del INFyS cuyo proceso de estimación se muestra en la sección de “Estimación de la biomasa aérea del arbolado vivo a nivel de UMS”. Además, con fines de identificar el subconjunto de UMS que permanecieron en la misma clase, se utilizaron los mapas de cobertura del INEGI Serie IV (2007) y V (2011) que son aproximadamente correspondientes con el primer y segundo ciclo del INFyS.

6.3.1.1.2.2. Metodología

La estimación de los FE mostrados en esta sección se basó en el método de cambios de existencias (Ecuación 26). Para ello, primero se obtuvo la estimación del carbono total en cada tiempo de acuerdo a lo indicado en la sección de “Estimación de la biomasa aérea del arbolado vivo a nivel de UMS”, por lo que no se sigue la fórmula de estimación vía volumen que se indica en el IPCC.

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad (\text{Ec. 26})$$

Dónde:

ΔC_B = Cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras que permanecen en la misma clase (ton C año⁻¹).

C_{t_2} = Total de carbono en biomasa para cada clase de tierra en el momento t_2 (ton de C)

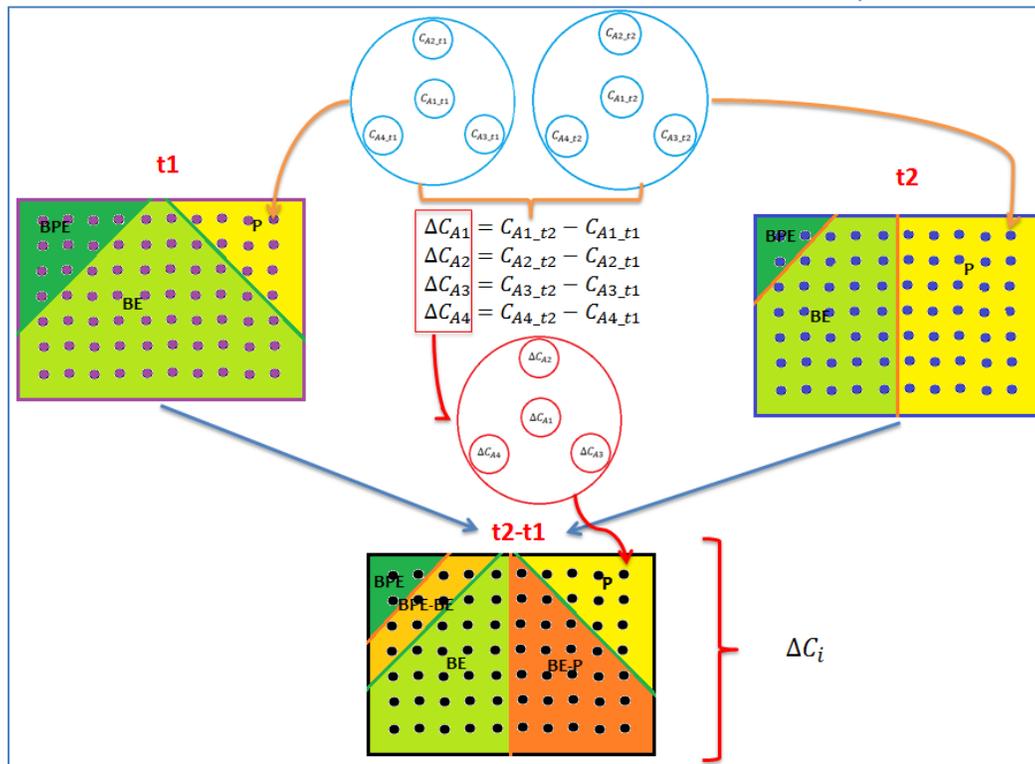
C_{t_1} = Total de carbono en biomasa para cada clase de tierra en el momento t_1 (ton de C)

Por lo tanto, para seguir las recomendaciones del IPCC (2006), los estimadores de estos FE se obtuvieron a partir de los cambios en los almacenes de carbono a nivel de UMS. Es decir, que para obtener estas estimaciones, se procedió a generar una nueva variable (*cambio bruto de carbono*) de las diferencias de carbono para cada clase a nivel de UMS, la cual es el resultado de restarle al “carbono total de cada UMS del re-muestreo” el “carbono total de cada UMS del muestreo” (Figura 20). Posteriormente, se anualizo dividiendo el *cambio bruto de carbono* entre el número de años que transcurrieron entre la medición y la remediación de cada UMS con lo que se creó la variable *cambio anualizado de carbono*.

La estimación de esta nueva variable de diferencias en los almacenes requirió de una serie de criterios para asegurar la consistencia de los datos a nivel de UMS entre el primer y segundo ciclo del INFyS, de esta manera:

- Sólo se consideraron aquellas UMS que en el primer ciclo del INFyS pertenecen a algún tipo “Tierra Forestal” o “Pastizal” (Forest Land o Grass Land) de acuerdo a las definiciones del IPCC.
- Dentro de este subconjunto, se filtraron las UMS identificadas como “iniciales”, denominadas así porque fueron medidas en el mismo lugar tanto en el primer como en el segundo ciclo del INFyS.
- Adicionalmente, también se excluyeron de este segundo subconjunto aquellas UMS que NO tienen información de carbono ya sea en el primer o segundo ciclo del INFyS. Con este filtro se excluyeron a aquellas UMS en las que NO se levantó información en alguno de los tiempos de medición por algún problema de inaccesibilidad.
- Finalmente, en este tercer subconjunto se eliminaron aquellas UMS que cambiaron de clase entre la serie IV y V del INEGI.

Figura 20. Proceso de construcción de la variable de cambio bruto de carbono a nivel de sub-parcela



Después aplicar estos criterios de selección de UMS, el tamaño de la muestra para la variable de cambios en los almacenes pasó de 104,880 UMS a 63,242 UMS. Con este subconjunto y con la variable de *cambio anualizado de carbono* se procedió a obtener los estimadores de los FE y sus incertidumbres. Para ello, se utilizó el estimador de “Razón” mostrado en la sección anterior.

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

6.3.1.1.3. Factores de emisión de “Tierras Forestales degradadas” convertidas a “Tierras Forestales” o “Otras Tierras” convertidas a “Tierras Forestales”

6.3.1.1.3.1. *Insumos*

Para obtener los FE de las “Tierras Forestales degradadas convertidas en Tierras Forestales” o “Otras Tierras convertidas a Tierras Forestales” se procedió a utilizar tres esquemas de estimación:

- El primero se basó en un enfoque de modelación con el que se buscó estimar tasas de incremento de carbono tanto de los bosques templados como de los tropicales.
- El segundo enfoque, simplemente consistió en asumir que anualmente se recupera 1/20 de la densidad de carbono promedio de los bosques.
- Finalmente, el tercer enfoque consistió en obtener el estimador de razón de cambio en los almacenes para las parcelas que están incrementando sus almacenes de carbono.

Bajo los tres esquemas de estimación se utilizaron los mismos insumos, los cuales consistieron en las estimaciones de la biomasa aérea a nivel de UMS para cada ciclo del INFYS con sus respectivas fechas de levantamiento de la información de cada parcela. Los procesos de estimación de estas variables se muestran detalladamente en la sección “6.2. Estimaciones a nivel de observación” por lo que su proceso de cálculo no se describe en esta sección.

6.3.1.1.3.2. *Metodología*

Enfoque de modelación

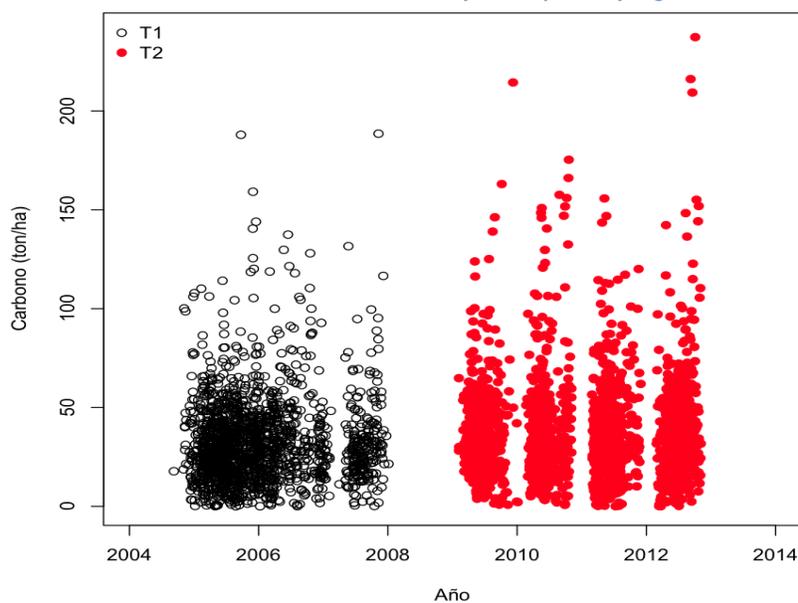
Para implementar el enfoque de modelación, primero se identificaron el sub-conjunto de parcelas que fueron medidas en el mismo lugar tanto en el primer como en el segundo ciclo del INFYS (iniciales) y cuyo cambio en los almacenes de carbono fue positivo pero con una tasa de crecimiento anualizada menor al 20% (esto con la finalidad de eliminar valores de crecimiento no reales).

A este sub-conjunto se les estimo el carbono a nivel de parcela para Tiempo 1 y Tiempo 2, después se obtuvo el cambio bruto en los almacenes de carbono y se calculó la diferencia de tiempo entre mediciones. Cabe mencionar que las parcelas fueron re-medidas en diferentes periodos de tiempo, que van de 1-8 años, lo cual se debe a un problema logístico del inventario (ya que teóricamente el periodo de remediación de todas las parcelas del INFYS es de 5 años), por lo que se aprovechó este error de planeación para identificar tasas de crecimiento de carbono en diferentes periodos de remediación.

Sobre el sub-conjunto de parcelas definidas en el párrafo anterior, se identificaron aquellas parcelas cuyos cambios brutos en los almacenes fueron positivos, es decir parcelas que entre periodos de remediación ganaron carbono. La idea detrás de este enfoque de modelación, es identificar la tasa de incremento en los almacenes de carbono de los bosques, utilizando solo las parcelas que están ganando carbono en diferentes periodos de remediación (Figura 21).

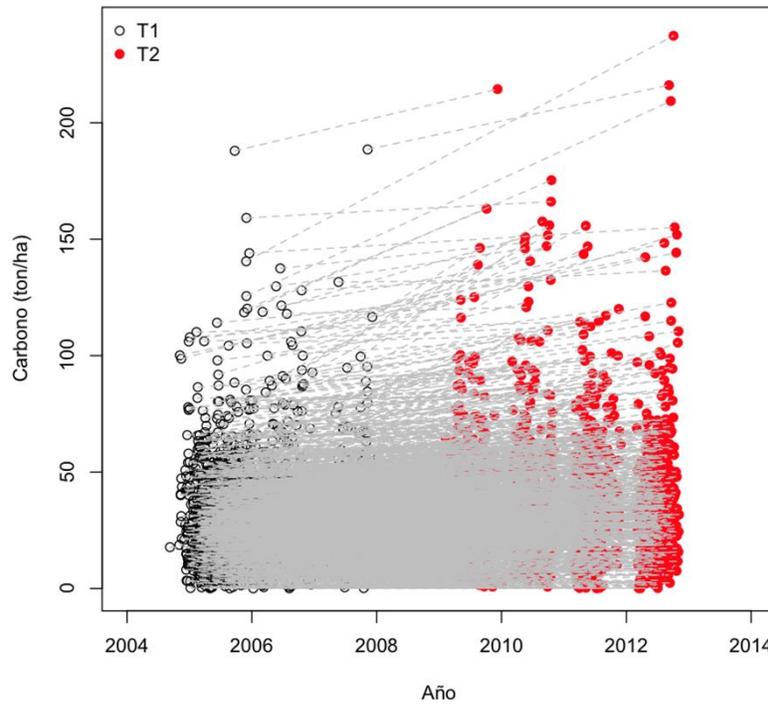
Por lo tanto, utilizando el enfoque de medidas repetidas (pues se cuenta con un subconjunto de parcela que han sido medidas en ambos ciclos del INFyS), se ajustaron los modelos lineales de efectos mixtos (MLEM) para obtener las tasas de crecimiento promedio de los cambios en los almacenes.

Figura 21. Estimación de carbono a nivel de UMP del INFyS en el primer y segundo ciclo del inventario.



La base conceptual de este enfoque de modelación, parte del supuesto de que se tiene una super-población en la que cada par de puntos re-medidos tiene su propia pendiente e intercepto entonces de esta super-población se toma una muestra y con esta se busca estimar la pendiente promedio como se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Pendientes de cambios en los almacenes de carbono a nivel de parcela bajo el enfoque de medidas repetidas.



Por lo tanto, tomando en cuenta que las estimaciones de carbono a nivel de parcela entre dos ciclos del INFyS son medidas repetidas y que nos interesa obtener una tasa promedio de ganancia, se procede a ajustar MLEM, en el que el modelo que se debe ajustar tiene interceptos aleatorios, es decir, como se muestra en la ecuación 27:

$$y_{ij} = a + bx_{ij} + z_i + e_{ij} \quad \text{Ec. (27)}$$

donde y_{ij} es la variable respuesta para la parcela i , medido al tiempo j ($j=1,2$). Usualmente se supone z_i y e_{ij} son independientes. Usualmente $z_i \sim N(0, \sigma_1^2)$, $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$.

Note que el modelo de la ecuación anterior es equivalente al modelo de la ecuación 28:

$$y_{ij} = a_i + bx_{ij} + e_{ij} \quad \text{Ec. (28)}$$

dónde $a_i = a + z_i \sim N(a, \sigma_1^2)$.

Note que en el modelo (2) a_i es un término aleatorio, y representa un intercepto en el modelo de regresión, de allí que al modelo (2) o de forma equivalente el modelo (1) se le denomine de interceptos aleatorios.

Note que al suponer interceptos aleatorios, se admite que cada recta de regresión asociada a cada parcela pueda poseer diferentes interceptos lo que permite un mejor ajuste de los datos y al mismo induce correlación entre las observaciones y_{ij} 's, lo cual es deseable ya que se tienen medidas repetidas en el tiempo (mediciones sobre las mismas parcelas en el tiempo).

Note también que el parámetro b indica la razón de cambio de biomasa general en la población de parcelas muestreadas durante los periodos de estudio.

De esta manera, logramos obtener modelos que nos predicen el incremento en los almacenes de carbono o largo del tiempo de análisis para cada tipo de bosque.

Intervalos de predicción

Predicción de observaciones futuras, solo se considera la parte fija del modelo (ecuación 29).

$$v(y - y_f) = [x_f'(X'X)^{-1} + 1]\sigma^2 \quad \text{Ec. (29)}$$

Para mayores detalles ver Searle (1997, pág. 91)

Enfoque de recuperación uniforme

Por otro lado, el enfoque de recuperación uniforme simplemente consistió en asumir que anualmente se recupera 1/20 de la densidad de carbono promedio de los bosques. Es decir, los FE que se obtuvieron bajo esta aproximación son el resultado de la simple división de las densidades de carbono de cada tipo de vegetación entre un factor de 20, el cual fue recomendado por el experto de FAO en inventarios de GEI Mr. Sandro Federici.

Si bien este esquema de estimación permite obtener estimaciones de manera sencilla y directa en función de las densidades de carbono; sabemos que es complicado aseverar que todos los bosques del país son capaces de recuperarse en un periodo de 20 años. Sin embargo, este enfoque se utiliza como una primera aproximación para enfrentar el problema de falta de información.

Enfoque de estimadores de razón de los incrementos

Para implementar este enfoque de estimación se utilizaron las parcelas que:

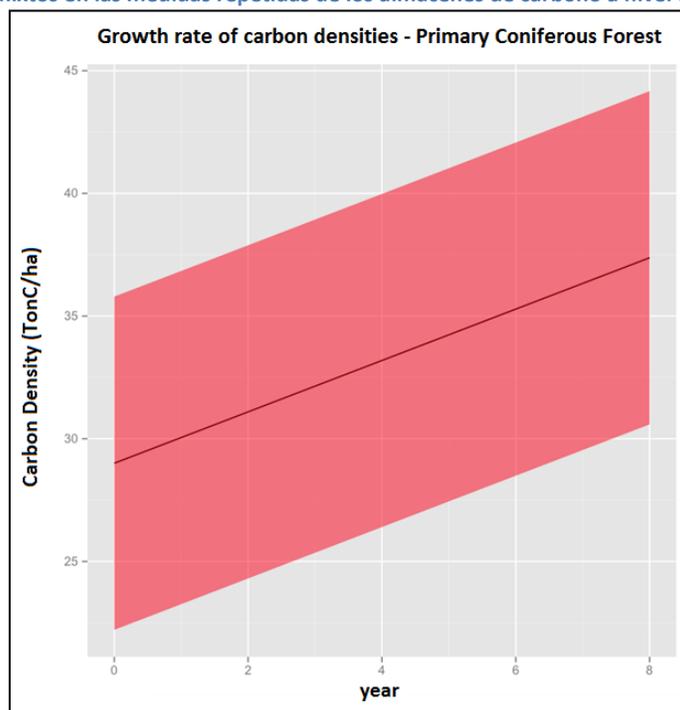
- Fueron medidas en el mismo lugar entre el primer y segundo ciclo del INFyS.
- Sus cambios en los almacenes fueron positivos, es decir que ganaron carbono entre los dos periodos de remediación de INFyS.
- Sus incrementos anualizados de carbono fueron menores al 20%

Sobre este subconjunto de parcelas se calculó el carbono en Tiempo 1 y Tiempo 2, y posteriormente se obtuvo el *incremento anualizado de los cambios en los almacenes de carbono*, que es el resultado de dividir los incrementos brutos en los almacenes de carbono entre el tiempo neto de remediación. Finalmente, los incrementos anualizados a nivel de estrato se obtuvieron evaluando los estimadores de razón (sección 6.4.1.1. Estimación de biomasa aérea de los árboles vivos) en la variable *incremento anualizado de los cambios en los almacenes de carbono*. Si bien bajo este método es posible estimar los FE con un estimador robusto, la definición del dominio del mismo es débil ya que no tiene una representación espacial definida ni una clase asociada.

6.3.1.1.3.3. Resultados

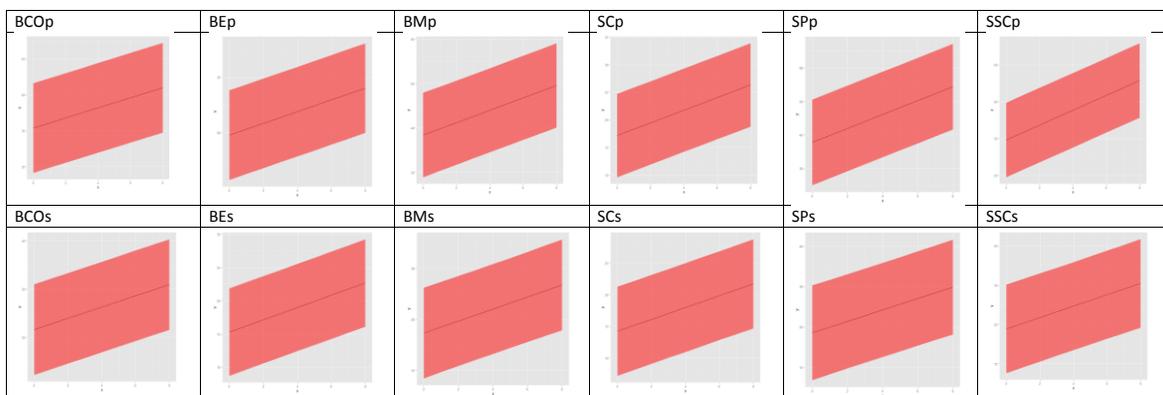
En la figura 23 se muestran los resultados del crecimiento estimado en el almacén de carbono para el Bosque de Coníferas en condición Primaria (BCO/p) utilizando el enfoque de modelación.

Figura 23. Tasa de crecimiento en las densidades de carbono del Bosque Coníferas primario ajustando un modelo de efectos mixtos en las medidas repetidas de los almacenes de carbono a nivel de parcela.



En la Figura 24, podemos ver los resultados de los modelos para los diferentes tipos de vegetación analizados.

Figura 24. Tasa de crecimiento en las densidades de carbono ajustando modelos de efectos mixtos en las medidas repetidas de los almacenes de carbono a nivel de parcela para diferentes tipos de vegetación.



6.3.1.1.4. Factores de emisión de “Tierras Forestales” convertidas a “Tierras Forestales degradadas”

6.3.1.1.4.1. Insumos

Para obtener los FE de las “Tierras Forestales convertidas en Tierras Forestales **degradadas**” se procedió a utilizar tres esquemas de estimación. El primero se basó en un enfoque de modelación con el que se buscó estimar tasas de decremento de carbono tanto de los bosques templados como de los tropicales. El segundo enfoque, simplemente consistió en asumir que anualmente se pierde 1/20 de la densidad de carbono promedio de los bosques. Finalmente, el tercer enfoque consistió en obtener el estimador de razón de cambio en los almacenes para las parcelas que están perdiendo sus almacenes de carbono.

Bajo los tres esquemas de estimación se utilizaron los mismos insumos, los cuales consistieron en las estimaciones de la biomasa aérea a nivel de UMS para cada ciclo del INFYS con sus respectivas fechas de levantamiento de la información de cada parcela. Los procesos de estimación de estas variables se muestran detalladamente en la sección “6.2. Estimaciones a nivel de observación” por lo que su proceso de cálculo no se describe en esta sección.

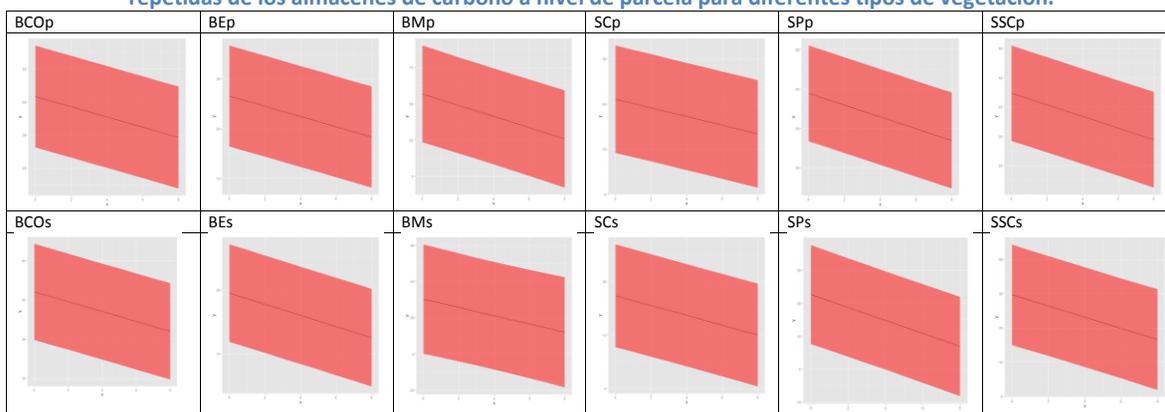
6.3.1.1.4.2. Metodología

Para estimar los FE de “Tierras Forestales convertidas en Tierras Forestales **degradadas**” se utilizaron los mismos enfoques de estimación (Enfoque de Modelación, Pérdida Uniforme y estimadores de razón de los decrementos) que los implementados en las “Tierras Forestales degradadas convertidas en Tierras Forestales” pero con la diferencia de que estos métodos fueron evaluados en los cambios negativos de carbono. Es decir se estimaron los FE para esta sub-categoría utilizando sólo el sub-conjunto de parcelas que perdieron carbono entre el primer y segundo ciclo del InfyS.

6.3.1.1.4.3. Resultados

Los resultados del enfoque de modelación se muestran de manera gráfica en esta figura 25, en la que claramente se puede observar que en los diferentes tipos de vegetación, los modelos muestran pérdidas de carbono conforme pasa el tiempo.

Figura 25. Tasa de decremento en las densidades de carbono ajustando modelos de efectos mixtos en las medidas repetidas de los almacenes de carbono a nivel de parcela para diferentes tipos de vegetación.



6.3.1.2. Biomasa Subterránea de Arbolado Vivo.

6.3.1.2.1. Factores de emisión para biomasa subterránea de “Tierras Forestales” que pasaron a “Otras Tierras”

La estimación de los FE que se utilizaron para la obtención de las emisiones de las “Tierras Forestales que pasaron a Otras Tierras” asociadas a la biomasa subterránea, se obtuvieron a partir de los mismos insumos espaciales, datos de campo y métodos utilizados en la biomasa aérea para esta sub-categoría.

En la práctica, los FE del carbono de la biomasa subterránea a nivel de clase se obtuvieron utilizando los estimadores de razón (ver Métodos en la sección de Biomasa Aérea) evaluados en carbono total para la biomasa subterránea a nivel de UMS. Esta última variable se obtuvo como una fracción de la biomasa subterránea a nivel de UMS, siguiendo lo recomendado por Cairns et al. (1997).

6.3.1.2.2. Factores de emisión para biomasa subterránea en “Tierras Forestales” que permanecen como tales

Los FE que se utilizaron para la obtención de las emisiones de las “Tierras Forestales que permanecieron como tales” asociadas a la biomasa subterránea, se estimaron a partir de los mismos insumos espaciales, datos de campo y métodos utilizados en la biomasa aérea para la sub-categoría de “Tierras Forestales que permanecieron como Tierras Forestales”.

De manera específica, los FE de los cambios de carbono de la biomasa subterránea a nivel de clase se obtuvieron utilizando los estimadores de razón (ver Métodos en la sección de Biomasa Aérea) evaluados en la diferencia del almacén de carbono total de la biomasa subterránea a nivel de UMS entre los dos ciclos del INFyS. Esta última variable se obtuvo como una fracción del cambio de la biomasa subterránea a nivel de UMS, siguiendo lo recomendados por Cairns et al. (1997).

6.3.1.3. Biomasa de Arbolado Muerto en Pie

6.3.1.3.1. Factores de emisión de la biomasa en árboles muertos en pío en “Tierras Forestales” que pasaron a “Otras Tierras”

Los FE que se utilizaron para la obtención de las emisiones provenientes de la biomasa en los *árboles muertos en pie* en las “Tierras Forestales que pasaron a Otras Tierras”, se obtuvieron a partir de los datos dasométricos del INFyS (del primer ciclo 2004-2007) y los mismos insumos espaciales utilizados en los almacenes de la biomasa aérea para esta sub-categoría. Para estimar estos FE se obtuvieron las densidades de carbono de los árboles muertos en pie a nivel de clase, bajo el supuesto de que cuando ocurre un cambio de uso de suelo “Tierras Forestales que pasaron a Otras Tierras” se pierde todo el almacén de carbono de los muertos en pie.

La obtención de estos FE a nivel de clase se basó en la estimación del total de carbono almacenado en los árboles muertos en pie a nivel de UMS, cuyo proceso de estimación se muestra en la sección de “Estimación de la biomasa del arbolado muerto en pie a nivel de UMS”. El sub-conjunto de UMS y métodos (Estimadores de Razón) utilizados para la estimación de los FE es el mismo que el empleado en la estimación de los almacenes de la biomasa aérea.

6.3.1.3.2. Factores de emisión de la biomasa de árboles muertos en pío en “Tierras Forestales” que permanecen como tales

Los FE que se utilizaron para la obtención de las emisiones de los cambios en la biomasa en las “Tierras Forestales que permanecieron como tales” se estimaron basados en el enfoque de cambios en las existencias del IPCC (ver sección de estimación de los cambios en los almacenes de biomasa aérea). Para implementar este método fue necesario contar con estimaciones del carbono de los árboles muertos en pie a nivel de UMS para el primero (2004-2007) y segundo (2009-2013) ciclo del INFyS; además de los mapas de tipos de vegetación Serie IV y V.

De manera específica, estos FE se obtuvieron a nivel de clase, a través de estimadores de razón (ver sección de estimación de los almacenes de biomasa aérea) evaluados en los cambios anualizados de los almacenes de carbono (a nivel de UMS) en los árboles muertos en pie. El proceso de estimación de esta variable de cambio en los almacenes, así como el sub-conjunto de UMS utilizadas para la estimación es exactamente análogo a lo indicado en la sección de sección de estimación de los cambios en los almacenes de biomasa aérea.

6.3.1.4. Tocones

6.3.1.4.1. Factores de emisión de la biomasa en tocones de las “Tierras Forestales” que pasaron a “Otras Tierras”

Los FE que se utilizaron para la obtención de las emisiones provenientes de la biomasa en *Tocones* de “Tierras Forestales que pasaron a Otras Tierras”, se obtuvieron a partir de los datos dasométricos del INFyS (segundo ciclo, años 2011-2012) correspondientes a los *Tocones* y los mismos insumos espaciales utilizados en los almacenes de biomasa aérea para esta sub-categoría. Para estimar estos FE se obtuvieron las densidades de carbono de los *Tocones* a nivel de clase, bajo el supuesto de que cuando ocurre un cambio de uso de suelo “Tierras Forestales que pasaron a Otras Tierras” se pierde todo el almacén de carbono de los *Tocones*.

La obtención de estos FE a nivel de clase se basó en la estimación del total de carbono almacenado en los *Tocones* a nivel de UMS en los años 2011 y 2012, cuyo proceso de estimación se muestra en la sección de “Estimación de la biomasa de los *Tocones* a nivel de UMS”. El sub-conjunto de UMS y métodos (Estimadores de Razón) utilizados para la estimación de los FE es el mismo que el empleado en la estimación de los almacenes de la biomasa aérea.

6.3.1.5. Material Leñoso Caído

6.3.1.5.1. Factores de emisión de la biomasa en material leñoso caído de las “Tierras Forestales” que pasaron a “Otras Tierras”

Los insumos y metodología se describe en la sección “6.3 Estimaciones a Nivel de Unidad de Muestreo”, en el apartado “6.3.1.5. Carbono del Material Leñoso Caído

6.3.1.6. Capa de hojarasca

6.3.1.6.1. Factores de emisión de la materia orgánica muerta de la capa de hojarasca en “Tierras Forestales” que pasaron a “Otras Tierras”

Para obtener las emisiones por pérdida de materia orgánica muerta de la capa de hojarasca en la transición de “Tierras Forestales que pasaron a Otras Tierras”, se estimaron los FE en función de las densidades del carbono almacenado en la capa de hojarasca para cada clase de cobertura. Bajo este enfoque, se asume que en un proceso de cambio de uso de suelo, se pierde todo el almacén de carbono de la capa de hojarasca.

Para obtener los FE a nivel de clase, se utilizaron como insumos la estimación del carbono de la materia muerta en la capa de hojarasca a nivel de UMS y el mapa de tipos de vegetación del INEGI Serie V, agrupado en las clases de reporte definidas en la sección de “Clasificación”. El carbono de la materia muerta en la capa de hojarasca se obtuvo a partir de 41,386 puntos de muestreo de mantillo del INFyS (2011-2012) agrupados en 1,179 UMS; el proceso de estimación a nivel de UMS se muestra en la sección de “Estimaciones del carbono almacenado en la hojarasca a nivel de

UMS". La definición de las clases y el sub-conjunto de UMS utilizadas en el proceso de estimación de estos FE se basaron en los mismos criterios utilizados en la estimación de los almacenes de la biomasa aérea (sección 6.4.1.1).

Para este depósito, los FE a nivel de clase, se estimaron utilizando el método de estimadores de razón (método de la sección 6.4.1.1.2) evaluados en los valores de la materia muerta de la capa de hojarasca a nivel de UMS y utilizando sólo la información del subconjunto de UMS definidas como tierras forestales y praderas.

6.3.1.7. Capa de fermentación

6.3.1.7.1. Factores de emisión de la materia orgánica muerta de la capa de fermentación en las "Tierras Forestales" que pasaron a "Otras Tierras"

Las emisiones de carbono debidas a la pérdida de la materia orgánica muerta de la capa de fermentación en las "Tierras Forestales que pasaron a Otras Tierras" se obtuvieron a partir de las estimaciones de los FE para este depósito. En la que se asume que el FE es correspondiente a las densidades de carbono de la materia orgánica muerta de la capa de fermentación; bajo el supuesto de que cuando ocurre un cambio de uso de suelo se pierde todo el almacén de carbono de este depósito.

Estos FE se estimaron a través de "estimadores de razón" evaluados en los valores de la materia muerta de la capa de fermentación a nivel de UMS. Estos valores fueron obtenidos de las mismas unidades de muestreo de donde se obtuvieron los datos para la capa de hojarasca. Los insumos espaciales, clases de reporte y sub-conjunto de UMS utilizadas para la estimación de los FE de este depósito, son los mismos a los empleados en la estimación de los FE de la capa de hojarasca.

6.3.1.7.2. Estimación de densidades de carbono orgánico contenido en suelos minerales e incertidumbres

Para la estimación de las densidades del carbono en suelos a nivel de clases de vegetación, se agruparon las estimaciones de los almacenes de carbono en suelos (a nivel de unidad de muestreo) de acuerdo a las clases definidas en la sección de "Representación coherente de la tierra" y posteriormente se obtuvieron las densidades de cada clase utilizando un estimador ponderado para la combinación de inventarios independientes.

Para obtener las estimaciones de los almacenes de carbono en suelos a nivel de unidad de muestreo en cada uno de los inventarios de suelos del INEGI y de la CONAFOR, se siguió los procedimientos mostrados en la sección de "Estimación de las densidades del carbono orgánico contenido en suelos minerales a nivel de unidad de muestreo".

Para agrupar las unidades de muestreo (de cada inventario de suelos) de acuerdo a las clases de la serie IV del INEGI, se utilizó la información original de uso de suelo y vegetación agrupado en las

clases definidas en la sección “4.3 Base de Datos Espaciales Disponibles”. Con este producto cartográfico y las coordenadas de cada unidad de muestreo, se identificó la clase a la que pertenece cada observación.

Una vez que se agruparon las estimaciones de los almacenes de carbono en suelo a nivel de unidad de muestreo (para cada uno de los inventarios) en las clases de reporte, se procedió a estimar las densidades de carbono en suelos de cada una de las clases. Para ello, primero fue necesario tomar en cuenta que la información proviene de inventarios de suelos que fueron desarrollados con diferentes objetivos, por lo tanto, esta condición implica que los inventarios son independientes y con distintas intensidades de muestreo. Una alternativa para obtener estimadores de la media a partir de la combinación de inventarios independientes, es utilizando un estimador ponderado. De acuerdo con Thomas C.E. et al. (1987), si existen más de un estimador insesgado de las medias y si las varianzas de las medias son conocidas, el mejor estimador en términos de del error estándar es el valor ponderado está dado por la ecuación 30:

$$\bar{x}_j' = \sum \frac{\bar{x}_i w_{ij}}{w} \quad (\text{Ec. 30})$$

Dónde:

\bar{x}_j' = media ponderada de la subcategoría j (expresada en carbono por hectárea)

$$w_{ij} = \frac{1}{s_{ij}}$$

$$w = \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

$$s_{ij} = \text{Varianza de la media } \bar{x} : \frac{S_{ij}}{n_{ij}}$$

S_{ij} = Varianza de los datos de los datos del inventario i en la subcategoría j

n_{ij} = Tamaño de la muestra del inventario i en la subcategoría j

\bar{x}_i = Media aritmética del carbono con datos del inventario i en la subcategoría j

La implementación de este estimador, requirió en primer lugar identificar inventarios con intensidades de muestreo similares. En este sentido, en la Cuadro 40, se puede observar que el inventario de suelos de la CONAFOR y los inventarios SERIE 1, SERIE 2 y SERIE 50 del INEGI tienen intensidades de muestreo de entre 3 y 7 km entre las unidades de muestreo, por lo que se asumió que estos tres inventarios son independientes, con una intensidad de muestreo similar y se localizan en el área mostrada con mosaicos amarillos (Figura 26).

En el mismo cuadro 27, también se observa que el inventario de suelos de CONAFOR tiene distancias entre unidades muestrales de 5 a 20 km; es decir, su intensidad de muestreo es superior

a lo que presentan los otros tres inventarios. Por lo tanto, para evitar sesgos debidos a la frecuencia de muestreo se procedió a identificar las áreas donde se levantó tal inventario.

Cuadro 27. Distancia promedio entre unidades de muestreo para los inventarios de suelos disponibles en México

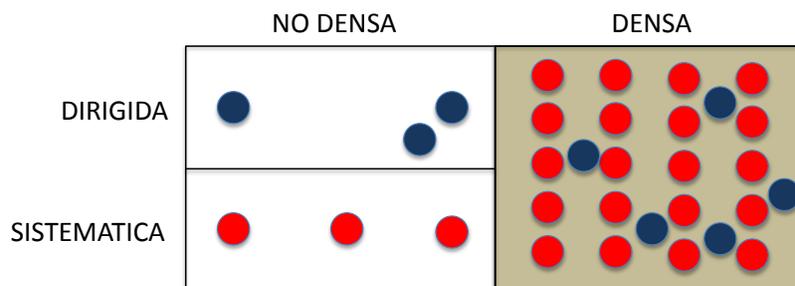
Diseño muestral	Intensidad de muestreo (km)
CONAFOR	5, 10 y 20 (15 promedio)
SERIE 1	5
SERIE 2	7
SERIE 50	3

Figura 26. Estratificación del país en función de las intensidades de muestreo de los inventarios de suelos disponibles en México. Las áreas amarillas representan las zonas del país en la que la intensidad de muestreo del SERIE 1, SERIE 2, SERIE 50 y CONAFOR los inventarios son de entre 3 y 20 km. Las áreas grises representan las áreas donde la intensidad de muestreo del inventario SERIE 50 es de 3 km y la de los otros inventarios es de entre 5 a 20 km.



Una vez identificados los estratos en función de la densidad de muestreo, se procedió a sobreponerles el producto cartográfico “Mapa de coberturas Serie IV” del INEGI agrupado por las clases del INEGI. De esta manera, cada una de las dos zonas de intensidad de muestreo (denso, no denso) con sus respectivos tipos de muestreo identificados (Figura 27), se re-estratifico de acuerdo a las clases del INEGI. Por lo tanto, para obtener los FE de cada clase, primero fue necesario obtener un estimador de FE por clase por cada inventario dentro de cada zona de intensidad de muestreo y después se combinaron de acuerdo a la Ecuación 36.

Figura 27. Ilustración de una posible distribución de áreas de una clase hipotética, bajo dos condiciones de intensidad de muestreo (denso/ no denso) y dos inventarios independientes (dirigido/sistemático).



Para obtener los estimadores de los FE por clase en la zona no densa, primero se procedió a estimar las estadísticas descriptivas (frecuencia, media y desviación estándar) de los FE para cada inventario utilizando sólo las observaciones que se encuentra dentro de la zona amarilla (zona con intensidad de muestreo no densa) y después se combinaron las tres estimaciones de FE por clase utilizando el estimador ponderado por el inverso de la varianza de la media.

Para la zona verde en primer lugar se obtuvieron las estadísticas descriptivas del inventario denso (inventario SERIE 50) y posteriormente se calcularon las estadísticas descriptivas de los otros tres inventarios; cabe mencionar que en ambos casos sólo se tomaron las observaciones de la zona gris. Después de obtener los FE por clase para cada uno de los inventarios, se procedió a combinar las estimaciones de los FE por clase en esta zona, para ello se siguió lo mostrado en la Ecuación 36.

Una vez estimados los FE por clase para cada zona se procedió combinarlos nuevamente de acuerdo a la Ecuación 36. Por lo tanto puede observarse que todo el proceso de estimación de los FE de suelos consto de tres etapas, la primera fue obtener los FE por clase para cada inventario dentro de cada zona (de intensidad de muestreo), después para cada zona se combinan los estimadores de cada uno de los inventarios y finalmente, los FE de cada zona se combinan (utilizando la ecuación 36) para obtener los FE nacionales.

6.3.1.7.3. Estimación de incertidumbre de las densidades de carbono orgánico contenido en suelos minerales

6.3.1.7.3.1. Método

Para la estimación de incertidumbres de los FE se siguieron las buenas prácticas del IPCC (2003) definidas mediante la ecuación 31:

$$U_j = \frac{IC_j/2}{\bar{x}_j} \times 100 \quad (\text{Ec. 31})$$

Dónde:

U_j : Incertidumbre del promedio de carbono en suelos de la subcategoría j

\bar{x}_j' : Promedio de carbono en suelos de la subcategoría j

IC_j : Intervalo de confianza del promedio de carbono de la subcategoría j

En la que el IC_j está en función de la varianza de \bar{x}_j' :

$$\bar{x}_j' - 1.96\sqrt{\hat{V}(\bar{x}_j')} \leq \bar{x}_j' \leq \bar{x}_j' + 1.96\sqrt{\hat{V}(\bar{x}_j')}$$

Y la $\hat{V}(\bar{x}_j')$ esta, está definida como se muestra en la Ecuación 32 (Thomas C.E. et al. 1987):

$$var(\bar{x}_j') = \frac{1}{w} \left[1 + \frac{4}{w^2} \sum \frac{1}{n_i} (w_i\{w - w_i\}) \right] \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

$var(\bar{x}_j')$ = Varianza del promedio ponderado estimado para la subcategoría j
 n_i, w y w_i se encuentran indicados en las sección anterior.

Las ecuaciones empleadas para el cálculo el Error Estándar, Intervalo de Confianza e Incertidumbre para cada una de las subcategorías definidas se muestran a continuación:

Estimaciones de Referencia de Carbono

Estimaciones en los perfiles y barrenaciones de suelo

Los Stocks de carbono se notifican en toneladas de carbono orgánico por hectárea en una profundidad de suelo hasta de 30 centímetros.

Tanto para perfiles como para barrenaciones se usa la Ecuación 3.2.16 indicada en la Orientación de las Guías de Buenas Prácticas (IPCC, 2003) para el sector CUTS (Ecuación 33).

$$\begin{aligned} COS &= \sum_{\text{horizonte}=1}^{\text{horizonte}=n} COS_{\text{horizonte}} \\ &= \sum_{\text{horizonte}=1}^{\text{horizonte}=n} ([COS] * \text{Densidad aparente} * \text{Profundidad } d * (1 - \text{frag}) * 10)_{\text{horizonte}} \end{aligned}$$

(Ec. 33)

Donde:

COS, es el contenido de carbono orgánico del suelo, representativo de la subcategoría de vegetación (Ton C / ha⁻¹).

COS_{horizonte} o también **COS_{barrenado}**, es el contenido de carbono orgánico del suelo para un horizonte, capa o barrenado de suelo (Ton C / ha⁻¹).

[COS], es la concentración de carbono orgánico del suelo para una masa de suelo dada obtenida por análisis de laboratorio (gr / Kg_(Suelo)).

Densidad aparente, también llamada DA, es la masa de suelo por volumen de muestra ($\text{Ton}_{(\text{suelo})} / \text{M}^3$) (equivalentes a $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Profundidad, del horizonte, capa o del barreno (m).

Frag, es el valor porcentual de fragmentos gruesos/100, sin dimensiones. Estos fragmentos se denominan gruesos porque no lograron entrar en un tamiz o malla número 10 (10 hilos cada pulgada con espaciamiento efectivo entre hilos de 2.00 milímetros).

En otros términos esta fórmula indica que el contenido total de COS se obtiene sumando el contenido ponderado de COS de cada capa, horizonte o barreno de suelo, el cual a su vez se calcula multiplicando la concentración de COS ($\text{gr}/\text{Kg}_{(\text{suelo})}$) de cada horizonte o barreno de suelo por la correspondiente profundidad y densidad aparente ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$), empleando ajustes para descartar el peso del suelo correspondiente a los fragmentos gruesos (pedregosidad interna).

Almacenes de referencia de subcategorías de vegetación y uso de suelo

Para la estimación de los FE de los almacenes de referencia en suelos de las subcategorías de vegetación y uso de suelos, se agruparon las estimaciones de los almacenes de carbono en suelos (a nivel de unidad de muestreo) de acuerdo a los estratos de la serie IV del INEGI agrupada en las subcategorías del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) y posteriormente se obtuvieron los FE de cada subcategoría utilizando un estimador ponderado para la combinación de inventarios independientes.

Para obtener la base con las estimaciones de los almacenes de carbono en suelos a nivel de unidad de muestreo en cada uno de los inventarios de suelos del INEGI y de la CONAFOR, se siguió los procedimientos mostrados en las secciones previas de este documento.

Para la zona verde (Figura 26) en primer lugar se obtuvieron las estadísticas descriptivas del inventario denso (inventario SERIE 50) y posteriormente se calcularon las estadísticas descriptivas de los otros tres inventarios; cabe mencionar que en ambos casos sólo se tomaron las observaciones de la zona gris. Después de obtener los FE por clase para cada uno de los inventarios, se procedió a combinar las estimaciones de los FE por clase en esta zona, para ello se siguió lo mostrado en la Ecuación 1.

Una vez estimados los FE por clase para cada zona se procedió combinarlos nuevamente (Ver Cuadro 9) de acuerdo a la Ecuación XX. Por lo tanto puede observarse que todo el proceso de estimación de los FE de suelos consto de tres etapas, la primera fue obtener los FE por clase para cada inventario dentro de cada zona (de intensidad de muestreo), después para cada zona se combinan los estimadores de cada uno de los inventarios y finalmente, los FE de cada zona se combinan (utilizando la ecuación 1) para obtener los FE nacionales.

7. CONCLUSIONES

El crecimiento demográfico y económico en el mundo ha incrementado la demanda de recursos naturales y energía, generando fuertes impactos y la modificación de los ecosistemas. En México la mitad de su territorio presenta signos de agotamiento, degradación y deterioro, especialmente en sus principales ciudades y zonas urbanas, con costos económicos importantes.

Conscientes de la problemática nacional, el gobierno de México se adhiere a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático como País No Anexo I, elaborando desde 1990 cinco Comunicaciones Nacionales sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y se encuentra implementado estrategias y políticas de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal, conservación, manejo sostenible de bosques y la mejora de los acervos de carbono (REDD+).

Para asegurar la continuidad y consistencia de futuras estimaciones, se documenta y presentan los procedimientos desarrollados, algunos de los cuales cuentan con herramientas automatizadas o semi-automatizadas para facilitar su procesamiento. Los esfuerzos aquí presentados fueron diseñados para producir estimadores consistentes, exhaustivos y exactos de las reservas de carbono en la biomasa forestal y por ende, en los cambios de cobertura forestal de México.

Las lecciones aprendidas durante el desarrollo del sistema MRV en México, incorporan alternativas de evaluación que permiten una mejor dimensión de la dinámica de cambios y sus emisiones. Es importante destacar la relevancia en el establecimiento de sitios de inventario permanentes, en los que la remediación de los siguientes ciclos asegure una total comparación entre mediciones. Así como continuar con los protocolos de integración de bases de datos y alternativas de aseguramiento de calidad para la depuración de datos y facilitar las comparaciones a través del tiempo.

Como parte de los esfuerzos nacionales para la construcción de este tipo de estimaciones, el INFyS se ha convertido en el principal insumo para las evaluaciones de uso de la tierra forestal y como base para el desarrollo de estimaciones de biomasa, carbono, dinámica de almacenes y la construcción de factores de emisión, que aunque la base de estimadores no es suficientemente robusta para algunos tipos de uso de suelo y vegetación, los dominantes a nivel nacional se encuentran bien representados.

Los Modelos Alométricos recopilados a nivel nacional e internacional han sido desarrollados para diferentes necesidades, debido a que partieron de diferentes enfoques, por lo que fue necesaria la construcción de una base de datos estandarizada, en un formato accesible, que permitiera su uso para las estimaciones y pueda estar disponible para diversos actores interesados. Por lo que es importante que las bases de datos cuenten con información asociada (metadatos) a los diferentes modelos para su adecuado uso, sobre todo cuando se cuenta con más de un modelo para una determinada especie, género o tipo de vegetación, lo que es necesario para poder hacer uso correcto de dicha información en la asignación del mejor modelo, dependiendo de las características de la especie.

Adicionalmente se está desarrollando un esfuerzo para contar con los datos originales en la construcción de cada modelo alométrico, con el propósito de definir la mejor ecuación de ajuste estadístico para lograr mejores estimaciones de biomasa y carbono.

Es importante destacar el esfuerzo en la identificación de los ejemplares de las especies colectadas en el INFyS por el herbario de la UNAM, la determinación de secuencias génicas y la construcción de la base de datos de densidades de la madera como insumos para futuras estimaciones de biomasa y carbono. Especialmente cuando estas densidades puedan correlacionarse con especies genéticamente afines incrementando su aplicabilidad.

Una de las más importantes definiciones de País ante al CMNUCC es la de “Bosque”, la cual ha sido establecida bajo diferentes enfoques tanto por instituciones a nivel nacional (Gobierno de México, INEGI, CONABIO, etc.) como a nivel internacional, tal es el caso de FAO para la Evaluación de los Recursos Forestales (FRA), el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD), el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), entre otros.

Sin embargo, es necesario unificar criterios de definición para poder desarrollar evaluaciones comparables y transparentes a nivel nacional e internacional, incrementando la confiabilidad de sus resultados y comparabilidad de reportes.

Con esta confianza, es que se han desarrollados trabajos de conciliación de criterios y tablas de correspondencia entre las diferentes definiciones de uso de suelo y vegetación nacional en coordinación con las instituciones involucradas en la definición de “Bosque” con el objetivo de definir las equivalencias de asignación y agrupación para las Comunicaciones Nacionales.

Los esfuerzos por evaluar el uso de suelo y vegetación en México se han realizado a lo largo de la historia de este País por numerosos estudios florísticos que buscaron describir la flora de su territorio. Sin embargo, la información oficial vigente inicia su desarrollo en 1968 con la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación, hoy Dirección General de Geografía del INEGI, el cual inició el proyecto de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:50,000, debido a problemas presupuestales se optó por reducir la escala a 1:250,000 y 1:1,000,000 para cumplir con el objetivo del cubrimiento nacional.

La información disponible en escala 1:250,000 se ha elaborado en cinco periodos diferentes desde 1978 (Series I a V), lo que ha permitido evaluar la dinámica del uso de suelo en los últimos 20 años. Evidentemente es una información que debido a su escala presenta limitaciones en la representación detallada de todas las actividades presentes en el territorio, sin embargo es la mejor información disponible hasta el momento.

Como parte del proceso de mejora en las estimaciones y conocedores de las limitaciones de la información actual, se realizan esfuerzos en el desarrollo de mejores métodos de evaluación de la dinámica de cambios de uso de suelo y vegetación presentes a nivel nacional y subnacional mediante el sistema de monitoreo MAD-Mex que permitirá realizar evaluaciones acordes con la definición de bosque y los requerimiento de estimaciones internacionales.

Con respecto a la información del INFyS, se ha contribuido en el rediseño y enriquecimiento de los formatos de captura de información recopilada en campo, para que este esfuerzo contribuya de manera significativa a mejores estimaciones de almacenes de carbono, sin embargo, dado que el diseño de muestreo del INFyS es de escala nacional, se prevé la necesidad de evaluar la suficiencia estadística muestral para nivel subnacional y su posible re-densificación, permitiendo generar factores de emisión de mayor especificidad y precisión.

De acuerdo con los insumos cartográficos utilizados actualmente y que son la base para la construcción de factores de emisión por tipo de vegetación, las áreas de permanencia continúan registrando incrementos y dada su extensión juega un rol muy importante en la condición de sumidero de carbono, en contraste con las superficies de cambio de uso de suelo cuyos valores son significativos pero su extensión es reducida.

La dinámica de biomasa registrada entre el primero y segundo ciclo del INFyS, son congruentes con los resultados en Datos de Actividad estimados, permitiendo evaluar el incremento de biomasa y carbono que no fueron cuantificados en anteriores comunicaciones.

La diferencia más significativa entre estos resultados y los de anteriores comunicaciones nacionales se encuentra en los bosques que siguen siendo bosques, ya que fueron considerados como emisores netos. En contraste con la presente estimación, que si se incluyen todos los bosques, las absorciones superan todas las emisiones en el sector USCUS.

Cabe destacar que el papel general de los bosques, ya sea de edad madura o con algún grado de degradación, tiene la capacidad de secuestrar carbono en la atmósfera y aumentar sus poblaciones a través del tiempo. Los registros de que a edad madura un bosque sigue incrementando sus niveles de biomasa y por lo tanto sus reservas de carbono fueron evaluados en el INFyS. Es conocido que a nivel mundial, los bosques son un sumidero de carbono, aunque el tamaño de esta absorción todavía es discutida, en particular para el caso del bosque tropical.

Un estudio en preparación para la Quinta Comunicación Nacional realizó cálculos para toda las hojas de trabajo que requieren una definición estrecha de los bosques manejados en el territorio nacional, encontrando un gran sumidero de carbono, pero no fue mencionado en la versión final presentado a la CMNUCC porque los cálculos tenían que ser reportados siguiendo factores de crecimiento aplicados sólo para estas zonas.

El presente estudio permite valorar la importancia de la permanencia y recuperación de los bosques, dicho de otra manera, la relevancia de su “resiliencia”, ya que el análisis de datos del INFyS registraron que la mayor parte de los bosques absorbe continuamente carbono en pequeñas cantidades cada año.

A partir del análisis en los cinco depósitos de carbono y las cinco transiciones evaluadas se generaron un total de 416 factores de emisión para los cuales se desarrollaron un total de 17 algoritmos en “R” (anexo 26).

Hasta el momento se han desarrollado las estimaciones para biomasa aérea y subterránea en todas sus transiciones (Cuadro 28). Para el resto de los almacenes se cuenta con la evaluación de sus depósitos y se continúa su construcción cuando se cuente con el tercer ciclo del INFyS.

Cuadro 28. Matriz de Factores de Emisión.

Almacén	TF-TF (Permanencia)	TF-TFd (Degradación)	TFd-TF (Recuperación)	TF-OT (Deforestación)	OT-FT (Reforestación)
Biomasa Aérea	✓	✓	✓	✓	✓
Biomasa Subterránea	✓	✓	✓	✓	✓
Muertos en pie	✓	✗	✗	✓	✗
Tocones	✗	✗	✗	✓	✗
MLC	✓	✗	✗	✓	✗
Mantillo	✗	✗	✗	✓	✗
Suelos	✗	✗	✗	✓	✗

✓ Terminado

✗ En Construcción

Entre los factores de emisión estimados, se destacan el carbono almacenado en suelo con un promedio de 41.29 (TonC/ha), la biomasa aérea un promedio de 14.346 (TonC/ha), la biomasa del material leñoso caído con un promedio de 6.027 (TonC/ha) y la de la biomasa subterránea con un promedio de 3.503 (TonC/ha).

En términos de almacenes de carbono total por clase INEGI (tipo de vegetación) se destacan EL Bosque Mesófilo de Montaña con un promedio de 134.445 (TonC/ha), la Selva Perenifolia con un promedio de 126.912 (TonC/ha), el Bosque de Coníferas con un promedio de 91.799 (TonC/ha) y la Selva Subperenifolia con un promedio de 65.725 (TonC/ha).

Para la biomasa aérea se estima un promedio de 14.346 (TonC/ha) y se destacan el BC, BM/P, SP/P, BCO/P, SSC/P, BCO/S, BE/P, BM/S, SSC/S y BE/S.

En biomasa subterránea se estima un promedio de 3.503 (TonC/ha), superando dicho valor en orden descendente el BC, BM/P, SP/P, BCO/P, SSC/P, BCO/S, BE/P, BM/S, SSC/S, BE/S, SP/S, Selva Caducifolia Primaria (SC/P).

Para la biomasa de árboles muertos en pie se estima un promedio de 0.035 (TonC/ha), superando dicho valor en orden descendente Especial Otro Tipo Leñoso Primario EOTL/P, SC/P, SP/P, BC, SSC/P, Vegetación Hidrófila Leñosa Primaria (VHL/P), BCO/P, BM/P, SP/S, SC/S.

Las estimaciones de carbono almacenado en tocones se estiman un promedio de 0.079 (TonC/ha), superando dicho valor en orden descendente BM/P, BM/S, BCO/P, BCO/S, BC, SP/S, SSC/P, VHL/P, SP/P, BE/P, SSC/S.

Para las estimaciones de material leñoso caído se estimó un promedio de 6.027 (TonC/ha), superado por la SP/S, BM/P, SP/P, BCO/P, BCO/S, BM/S y VHL/P.

Para el almacén de hojarasca se estima un promedio de 0.931 (TonC/ha), superando dicho valor en orden descendente BCO/S, BM/P, SP/P, BCO/P, BM/S, EOTL/S, BE/P, SP/S, SSC/P, SSC/S, BE/S, BC.

En cambio para el almacén de la capa de fermentación se estima un promedio de 0.168 (TonC/ha), superando dicho valor en orden descendente BM/P, BM/S, SP/P, BCO/P, SSC/S, BCO/S, SSC/P, BE/P, BC, VHL/S, BE/S, Pastizal (P).

Finalmente, las estimaciones de carbono para suelos minerales se estiman un promedio de 41.29 (TonC/ha), superando dicho valor en orden descendente BM/S, VHL/P, SP/S, BM/P, SP/P, BCO/S, EOTL/S, BCO/P, SSC/P, SC/S, BE/S, SSC/S, SC/P.

En términos generales de estimación, la mayor concentración de carbono se registra en los ecosistemas de bosques 34.99%, seguido por la selvas 31.38%. Un segundo grupo lo componen los matorrales 15.37% y pastizales 14.65%, un tercer grupo formado por la vegetación hidrófila 2.15% y Especial Otros Tipos de Vegetación 0.28% (Figura 28).

Con respecto a la distribución total de los almacenes de carbono, el mayor depósito de carbono se encuentra en la biomasa del suelo (63%), seguido de la biomasa aérea (21%), la biomasa del material leñoso caído (8%), la biomasa subterránea (5%). En un grupo más pequeño se encuentra la biomasa en hojarasca (2%) y la biomasa de la capa de fermentación (1%). Con menos del 1% se encuentran la biomasa de árboles muertos en pie y tocones (Figura 29).

Figura 28. Distribución de los Almacenes de Carbono por Tipo de Comunidad Vegetal.

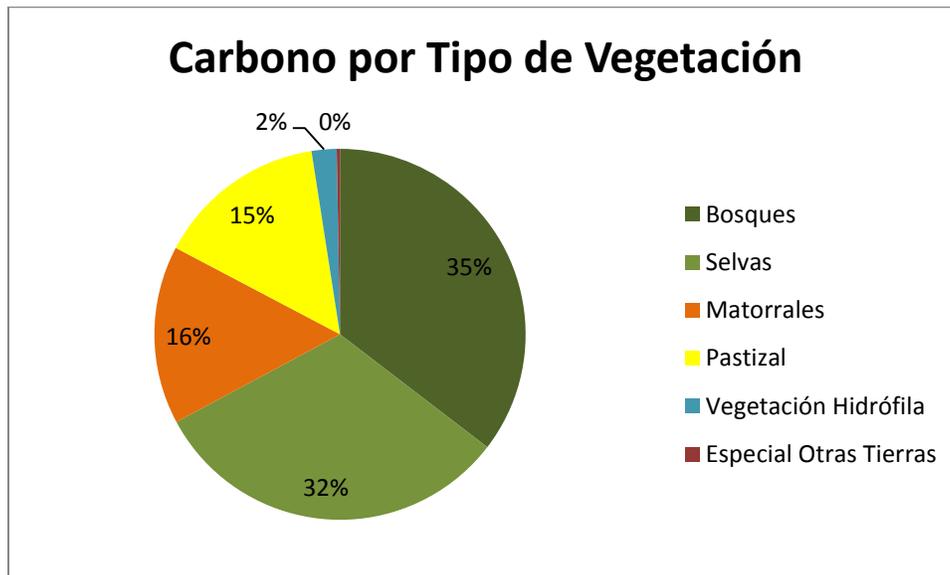
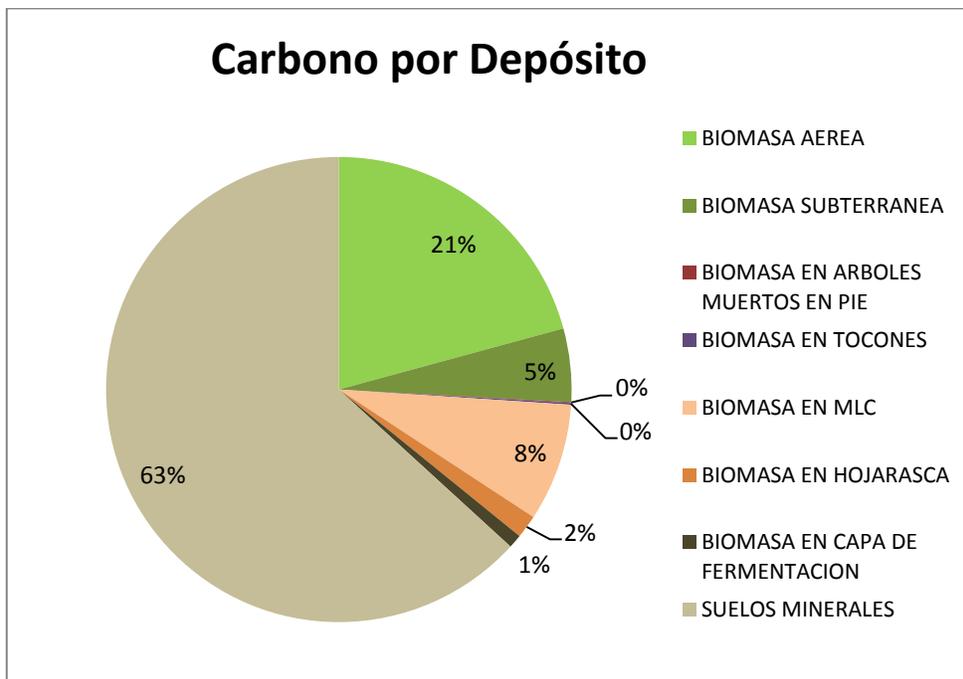


Figura 29. Distribución de los Almacenes de Carbono por Depósito.



Adicionalmente a los esfuerzos aquí presentados, se desarrolló el Sistema Nacional de Monitoreo de Emisiones Forestales (SINAMEF), la cual es una plataforma en internet que permite realizar consultas para todos los depósitos en cada uno de los niveles de reporte (Observación, Unidad de Muestreo, Estrato y Nacional) y para las diferentes transiciones de cambio, donde se puede consultar a ese nivel de detalle su factor de emisión e incertidumbre asociada.

En 2010, México contaba con una población rural de 22.2 millones de habitantes, dedicados principalmente a actividades agropecuarias principalmente nómadas de subsistencia. El estilo de vida de esta población exige aprovechamientos forestales de baja escala pero continuos, especialmente de leña, postería y madera de forma ilegal tanto para la construcción propia como para la venta. Estas actividades no constituyen por completo procesos de deforestación, sino a procesos de degradación, pues producen cambios en la densidad de la vegetación, los cuales no son siempre detectados por sensores remotos como cambios, por lo que la definición de bosque manejado tiene umbrales muy sutiles a considerar.

Cada vez hay más evidencia de que una gran parte de los bosques de México se encuentra en un continuo estado de transición debido a los efectos cíclicos de la agricultura migratoria y el pastoreo, así como al abandono e intensificación. Con una comprensión de la dinámica de las zonas forestales, las políticas de REDD + podrían utilizarse para estimular los procesos que conducen a elevar las reservas de carbono en los bosques que se mantienen como bosques (98%), en lugar de centrarse sólo en las áreas que están sujetas a la deforestación (1.5%) o con degradación (menos del 1%). La mayoría de las regiones, con la excepción de los matorrales del centro-norte, demuestran mosaicos mixtos de pequeñas pérdidas y ganancias.

Las estimaciones desarrolladas en el presente trabajo bajo los métodos aquí descritos, los cuales toman como base la información de campo del INFyS demuestran que los bosques de México registran tasas de crecimiento convirtiéndolo en un sumidero neto de carbono.

Si bien la tendencia de absorción y emisión de carbono a nivel País durante los últimos 20 años es alentadora, es importante destacar que es resultado las tierras forestales que permanecen en su condición original dada su gran superficie que permite una participación significativa y defina la condición de sumidero, la relevancia de los bosques naturales o aquellos que se encuentran en recuperación se centra en su capacidad de absorción del carbono atmosférico y el incremento de los almacenes en el tiempo.

Por otra parte, existen motivos distintos de las emisiones de carbono para la conservación de los bosques, como la preservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, así como la protección de medios de vida tradicionales de las comunidades forestales. Por consiguiente, los resultados obtenidos deben reforzar las políticas en el ámbito de la gestión sostenible de los bosques, como se establece en diversos documentos clave como la Estrategia Nacional de REDD +, y en las leyes sobre el Cambio Climático y de Desarrollo Forestal Sustentable.

8. RECOMENDACIONES

Con el propósito de dar seguimiento a este esfuerzo y a punto de iniciar con la elaboración de la sexta comunicación nacional, es importante considerar las siguientes recomendaciones:

1.- Es necesario dar continuidad al análisis de todas estimaciones derivadas de las variables colectadas en INFyS, ya que de solo de esta forma se puede detectar los retos para la estimación de todos los depósitos carbono y su dinámica. A partir del tercer ciclo se va a contar con una línea base donde se colectan la mayoría de las variables que caracterizan los 5 depósitos de carbono, lo cual dará la oportunidad de analizarlos de forma completa y la interacción entre ellos. Esto dará seguramente una nueva pauta para ajustar, mejorar o cambiar el diseño actualmente establecido.

2.- Es importante considerar el rediseño muestral o redesificación de conglomerados a nivel nacional, ya que para evaluaciones a nivel subnacional el número de sitios no es representativo desde el punto de vista estadístico, pues muchos de sus usos de suelo y comunidades vegetales no están adecuadamente representados. No obstante de que los factores de emisión tienen un alcance nacional, sus valores fueron generados con datos de condiciones nacionales y es preferible aplicarlos a nivel subnacional en lugar de los valores por defecto de las guías del IPCC, permitiendo a las instituciones analizar los datos de los Inventarios Forestales Estatales para obtener nuevos factores de emisión para estas escalas.

3.- El apoyo de investigaciones en materia de modelos alométricos y su correcta documentación es relevante ya que constituyen la base de estimaciones de biomasa y carbono. Ya que existen especies, géneros y tipos de vegetación de amplia distribución los cuales no han sido adecuadamente evaluados y constituyen un insumo importante en las estimaciones.

4.- La experiencia en el proyecto y de la participación de componente de factores de emisión para elaboración de reportes nacionales debe de ser tomada en cuenta en la dimensión del proyecto para ubicar el mecanismo institucional con el cual se vincula el sistema MRV con otras instituciones y en la acciones de política pública para REDD.

5.- Los espacios de diálogo e intercambio de experiencias como se ha llevado a cabo en la exposición de el caso de México en la estimación de factores de emisión, deben mantenerse como una rutina entre países que tiene condiciones similares ecológicas y socioeconómicas ya que solo de esta manera se pueden fortalecer sus capacidades y es esencial como estrategia de colaboración, si buscan adquirir compromisos internacionales dentro del marco de la Estrategia REDD+.

6.- La condición actual de sumidero de CO₂ puede calificarse como “frágil”, debido a que las áreas forestales se encuentran sujetas a alta influencia humana y climática, tales como afectaciones por ciclones y huracanes, sequías, incendios forestales, aprovechamientos clandestinos, extracción de leña para consumo doméstico, avance de la frontera agropecuaria, cambio de uso de suelo, entre otros, que pueden reducir significativamente la superficie forestal, o en la mayoría de los casos impactar directamente en cambios de la densidad forestal y la capacidad de absorción de CO₂, con resultados adversos.

7.- Es por esta razón los esfuerzos REDD+ requieren fortalecerse al interior de cada país, con el propósito de evaluar adecuadamente las tasa de crecimiento de bosques naturales, las afectaciones por actividades humanas que degradan o fomentan los almacenes de CO², orientar las políticas o actividades que permitan impulsar el incremento de áreas forestales y de esta forma asegurar la reducción de emisiones de GEI, adicionalmente a otros servicios ambientales para la preservación de la biodiversidad, recursos asociados y culturales de las sociedades que depende de ellos, como está plasmado en la ENARED+, la Ley de Cambio Climático y la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable.

9. BIBLIOGRAFIA

- 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.
- 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.
- Agenda 21. Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas. <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21sptoc.htm>
- Aguilar, J. 2009. Captura de carbono en una plantación de *Pinus greggii* Engelm., en Arteaga Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 60 p.
- Aguilar, R., A. Ghilardi, E. Vega, M. Skutsch y K. Oyama. 2012. Sprouting productivity and allometric relationships of two oak species managed for traditional charcoal making in central Mexico. *Biomass and Bioenergy* 36: 192-207.
- 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.
- 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, C., R. Valdez, G. Ángeles, H. de los Santos, R. Haapanen y A. Aguirre. 2009. Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de *pinus patula* en Hidalgo, México. *Agrociencia* 43 (2): 209-220.
- Annex 4A.1 Tool for Estimation of changes in Soil Carbon Stocks associated with Management Changes in Croplands and Grazing Lands based on IPCC Default Data (Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising From Kyoto Protocol)
- ASTM, 2009. Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002, <http://www.astm.org>
- Avendaño, D. 2006. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. et Cham., en Tlaxcala, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 66 p.
- Avendaño, D., M. Acosta, F. Carrillo, J. Etchevers. 2009. Estimación de la biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32 (3): 233-238.

- Aristizabal, J. y A. Guerra. 2002. Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema Agroforestal nogal cafetero (*Cordia alliodora*) – cacao (*Theobroma cacao* L.) – plátano (*Musa paradisiaca*). Tesis Profesional. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia. 108 p.
- Avendaño, D., M. Acosta, F. Carrillo, J. Etchevers. 2007. Estimación de la biomasa y carbono en árboles de *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. et Cham., mediante ecuaciones alométricas. Memorias del VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales.
- 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.
- Bonilla, E. 2009. Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus montezumae* Lamb. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 60p.
- 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.
- Brown et al. 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forest with Applications to Forest Inventory Data. Forest Science, Vol. 35. No. 4. pp. 881-902
- Brown 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. FAO Forestry Paper 134. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. ISBN 92-5-103955-0. <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.HTM>
- Búrquez, A., A. Martínez, S. Núñez, T. Quintero y A. Aparicio. 2010. Aboveground biomass in three Sonoran Desert communities: Variability within and among sites using replicated plot harvesting. Journal of Arid Environments 74 (10): 1240-1247.
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111, 1–11.
- Cairns, M., I. Olmsted, J. Granados y J. Argaez. 2003. Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. Forest Ecology and Management 186:125-132.
- Castañeda, A. , J. Vargas, A. Gómez, J. Valdez y H. Vaquera. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. Agrociencia 39 (1): 107- 116.
- Castañeda, A. 2004. Acumulación de carbono y productividad primaria neta en una plantación de *Bambusa oldhamii* en Huatusco, Veracruz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 67 p.

Castañuela, Y. 2013. Estimación de la biomasa aérea y captura de carbono en *Yucca filifera* (Chaubad) y *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. usando ecuaciones alométricas, en Mazapil, Zacatecas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 29 p.

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.

Challenger, A., Dirzo, R. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: *Capital Natural de México*. Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, pp. 37-73, México: CONABIO.

Challenger, A., Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. En: *Capital Natural de México*. Vol I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad, 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.

CONABIO (comp.) 2012. Catálogo de autoridades taxonómicas de la flora nativa de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. México, D. F.

CONAFOR 2011. Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). Comisión Nacional Forestal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/infys>

CONAFOR 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). Comisión Nacional Forestal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/infys>

CONAFOR 2013. Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). Comisión Nacional Forestal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/infys>

Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (Nueva York, Estado de Nueva York, Estados Unidos de América, 9 de mayo de 1992. Publicación Aprobación en el D.O.F.: 13 de enero de 1993. Entrada en vigor para México: 21 de marzo de 1994).

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., Aguillón J., Olgúin-Álvarez M., Arias T., Berrueta V., Colunga G., Etchevers J., García C., Ghilardi A., Gosch R., Guerrero G., Masera O., Pareja M., Prehn M., Probst O., Riegelhaupt E., de los Ríos E. and Tinoco J. 2009. Agriculture, forestry, and bioenergy. En: Johnson T.M., Alatorre C., Romo Z., Liu F. (Coords.). México: estudio sobre la disminución de carbono. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington, DC, USA. <http://tinyurl.com/medec26oct>. pp. 73-81.

De los Ríos, E. y J. Návar. 2010. Alometría de raíces de dos comunidades subtropicales del Nordeste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12: 123 - 134.

De Vries P.G. 1986. *Sampling Theory for Forest Inventory. A Teach-Yourself Course*. Springer, New York.

Díaz, R. 2005. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en el estrato aéreo en bosques de *Pinus patula* Schl. Cham. en Tlaxcala México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma Chapingo. México. 50 p.

Díaz, R., M. Acosta, F. Carrillo, E. Buendía, E. Flores y J. Etchevers. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Cham. *Madera y Bosques* 13(1):25-34.

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.

Domínguez, G., O. Aguirre, J. Jiménez, R. Rodríguez y J. Díaz. 2009. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 59-64.

Douterlungne, D. 2013. Árboles de rápido crecimiento para la restauración ecológica y la captura de carbono en el trópico húmedo de México. Tesis de Doctorado. El Colegio de la Frontera Sur. México. 83 p.

Douterlungne, D., A. Herrera, B. Ferguson, I. Siddique y L. Soto. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia* 47 (4): 385-397.

Estrategia Mesoamericana de Sustentabilidad Ambiental (EMSA) - 28 de junio de 2008.

Estatuto Orgánico de la Comisión Nacional Forestal (D.O.F. 7-08-2006 y su reforma D.O.F. 25-05-2012)

Estatuto Orgánico del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (D.O.F. 4-10-2013).

FAO-UNESCO 1968-2006-2014. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>

FAO, 2006. Guidelines for Soil Description. Fourth Edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. ISBN 92-5-105521-1.

FAO, 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe Principal. Estudio FAO Montes 163. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. ISBN:978-92-5-306654-4

FCCC CP05 2000. Informe de la Conferencia de las Partes sobre la primera parte de su Sexto Periodo de sesiones, Celebrada en La Haya del 13 al 25 de Noviembre de 2000.

FCCC CP07 2002. Informe de la Conferencia de las Partes sobre la primera parte de su Séptimo Periodo de sesiones, Celebrada en Marrakesh del 29 Octubre al 10 Noviembre de 2001.

Figueroa, C., G. Ángeles, A. Velazquez y H. de los Santos. 2010. Estimación de la biomasa en un Bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltdl. et Cham en Zacualtipán, Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 1 (1): 105-112.

Figueroa, C. 2010. Almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula* en el Ejido La Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 72 p.

Flores, P., M. López, G. Ángeles, M. de la Isla y G. Calva. 2011. Modelos para estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. en proceso de declinación. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 2(8): 9-20.

Foroughbakhch, R., M. Alvarado, J. Hernández, A. Rocha, M. Guzmán y E. Treviño. 2006. Establishment, growth and biomass production of 10 tree woody species introduced for reforestation and ecological restoration in northeastern Mexico. Forest Ecology and Management 235:194-201.

Gardi C., Jeffery S., Saltelli A., (2013) An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. Global Biology Change , 5 (2013) pp. 1538-1548.

Gómez, J. 2008. Determinación de los almacenes de carbono en los compartimentos aéreo y subterráneo de dos tipos de vegetación en la reserva de la biósfera "Sierra de Huatla", Morelos, México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. México. 194p.

Gómez, J., J. Etchevers, A. Monterrosos, J. Campo y J. Tinoco. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(2): 261-272.

González, M. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza. Costa Rica. 81 p.

González, N. 2001. Ajuste y validación de modelos para estimar biomasa y crecimiento de biomasa en plantaciones forestales del estado de Durango. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 73 p.

Guerrero L. 2013. Cuantificación de biomasa, carbono y producción de oxígeno de *Pinus cembroides* Zucc. en Mazapil, Zacatecas, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 33 p.

INECC 2013. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. Primera Edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México, D.F. ISBN: 978-607-8246-63-2.

Hughes, F., B. Kauffman y V. Jaramillo. 1999. Biomass, Carbon, and Nutrient Dynamics of Secondary Forests in a humid Tropical Region of Mexico. *Ecology* 80(6):1892-1907.

INEGI 1900. Censo General de la República 1900, Dirección General de Estadística, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1900/default.aspx>

INEGI 1993. Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie II. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. 77 p.

INEGI 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. 74 p.

INEGI 2010. Censo General de Población y Vivienda 2010, Dirección General de Estadística, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

INEGI 2012. Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie IV. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. 126 p.

INEGI 2013. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas económicas y ecológicas de México 2003-2011, año base 2008. México.

INEGI 2015. Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie V. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. 195 p.

IPCC 2000. Resumen para responsabilidades de políticas, Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. ISBN:92-9169-414-2.

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

IPCC 2005. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura Guía de Buenas Prácticas. ISBN 92-9169-317-0. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf/spanish/full.pdf>

IPCC 2006. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Capítulo 4. Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del protocolo de Kyoto. pp 11.

IPCC 2006. Guía para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 4. Agricultura, Forestal y Otros Usos de la Tierra. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 1990 A 2006 en la Categoría de Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra. Instituto Nacional de Ecología.

Jiménez, C. 2010. Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en la parte aérea de *Pinus hartwegii* Lindl., en el Parque Nacional Izta-Popo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 55 p.

Jiménez E. 2013. Ecuaciones Alométricas para Estimación de Biomasa Aérea en *Prosopis laevigata* Willd. y *Pinus pinceana* Gordon. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 35 p.

Jong et al. 2009. México, Cuarta Comunicación Nacional ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. SEMARNAT.

Juárez, B. 2008. Uso de ecuaciones alométricas para estimar de biomasa y carbono de *Alnus jorullensis* H. B. K. spp. jurullensis en bosques mezclados de Tequexquahuac, Texcoco, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 63 p.

Krasilnikov P.V., García-Calderón N.E., Ibañez-Huerta A., Bazán-Mateos M., Hernández-Santana J.R. 2011. Soilsapes in the dynamic tropical environments: the case of Sierra Madre del Sur. *Geomorphology* 135:262-270.

Lefsky, M., D. Harding, W. B. Cohen, G. Parker y h. Shugart. 1999. Surface lidar remote sensing of basal area and biomass in deciduous forests of Eastern Maryland, USA. *Remote Sensing of Environment* 67:83-98.

Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental. (D.O.F. 11-06-2002 última reforma D.O.F. 8-06-2012).

Ley General de Cambio Climático. (D.O.F. 06-06-2012).

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. (D.O.F. 25-02-2003, última reforma D.O.F. 07-06-2013). http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/259_260315.pdf

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (D.O.F. 28-01-1988, última reforma D.O.F. 05-11-2013)

León, J., R. Domínguez y S. Díaz. 2005. Evaluación del peso del leño a partir de variables dimensionales en dos especies de mezquite *Prosopis aticulata* S. Watson y *P. palmeri* S. Watson, en Baja California Sur, México. Acta Botánica Mexicana 72:17-32.

Ludwig, J., J. Reynolds y P. Whitson. 1975. Size-biomass relationships of several Chihuahua Desert Shrubs. American Midland Naturalist 94(2):451-461.

Manzano, F. 2010. Crecimiento, periodicidad y biomasa de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. México. 85 p.

Martínez-Yrizar, A., J. Sarukhan, A. Pérez-Jiménez, E. Rincón, J. Maass, A. Solís-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.

Mc Vaugh R. 1992. Gymnosperms and Pteridophytes. En: Anderson W.R. Ed. Flora Novogaliciana. Vol. 17, pp. 1-467, The University of Michigan Press, Ann Harbor.

MEA. 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Current state and trends. MEA. Island Press. Washington, D.C.

Méndez, J., A. Santos, J. Nájera y V. González. 2006. Modelos para estimar volumen y biomasa de árboles individuales de *Prosopis glandulosa*, var. Torreyana en el ejido Jesús González Ortega No.1, Mpio. De Mexicali, B.C. Agrofaz 6(2): 225-239.

Méndez, J., L. Luckie, M. Capó y J. Nájera. 2011. Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. Agrociencia 45: 479-491.

Méndez, J., O. Turlan, J. Ríos y J. Nájera. 2012. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3 (13): 57-72.

Mequeas Gonzáles 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. *ochoterenai* Mtz. Y *Quercus* sp.

Meráz, J., F. Rojas-García, J. Galarza, J. Torres, J. Luna, A. Ponce y J. Romo. 2013. Utilización de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa y carbono en huertos de guayabo. Memorias IV Congreso Mexicano de Ecología. Villahermosa, Tabasco. pp. 223.

Mickel, J.T. and J.M. Beitel, 1988. Pteridophyte flora of Oaxaca, Mexico. 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. y E. Hernández. 1963. Los Tipos de Vegetación de México y su Clasificación. Bol. Soc. Bot. Mex. 29–179.

Monroy C. y J. Návar. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. Madera y Bosques 10(2): 29-43.

Montes de Oca, E.; P. García, J. Nájera y J. Méndez. 2009. Ajuste de ecuaciones de biomasa para *Pinus durangensis* (Martínez M.) en la región de El Salto, Durango. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 15(1): 65-71.

Mora, E. 2010. Carbono almacenado en la fitomasa aérea en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. En Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 65 p.

Moreno, N. 2010. Estimación de captura de carbono en bosques comunales de *Pinus hartwegii* Lindl. En la zona de Amecameca, Estado de México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 36 p.

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, J. 2010. Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. Madera y Bosques 16 (1):51-69.

Návar, J. 2010. Alometría para biomasa en especies arbóreas del noroeste de México. Tropical and Subtropical Agroecosystems (12): 507-519.

Návar, J. 2009. Allometric equations and expansion factors for tropical dry forest trees of eastern Sinaloa, Mexico. Tropical and Subtropical Agroecosystems 10: 45 – 52.

Návar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. Forest Ecology and Management 257:427-434

Návar J., E. Méndez, A. Nájera , J. Graciano , V. Dale y B. Parresol. 2004. Biomass equations for shrub species of Tamaulipas thornscrub of northeastern Mexico. Journal of Arid Environment 59: 657–674.

Návar, J., J. Nájera y E. Jurado. 2001. Preliminary estimates of biomass growth in the Tamaulipas thornscrub in north-eastern Mexico. Journal of Arid Environments 47: 281-290.

Návar, J., N. González, J. Graciano, V. Dale y B. Parresol. 2004. Additive biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, Mexico. Madera y Bosques 10(2):17-28.

Northup, B., S. Zitzerb, S. Archer, C. McMurtryc y T. Boutton. 2005. Above-ground biomass and carbon and nitrogen content of woody species in a subtropical thornscrub parkland. *Journal of Arid Environments* 62: 23-43.

Pacheco, F., A. Aldrete, A. Gómez, A. Fierros, V. Cetina y H. Vaquera. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(3): 251-254.

Pacheco, G. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea por compartimentos en reforestaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham., en Xiacuí, Ixtlan, Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad de la Sierra Juárez. México. 58 p.

Palma, A. 2011. Estimación de biomasa y carbono de *Pinus pseudostrabus* en San José del Rincón, Estado de México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 58 p.

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.

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (aprobado por Decreto publicado el 20 de mayo de 2013)

Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (Kyoto, Japón, 11 de diciembre de 1997. Publicación Aprobación en el D.O.F.: 1 de septiembre del año 2000. Entrada en vigor para México: 16 de febrero del 2005).

Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. (D.O.F. 21-02-2005).

Rodríguez R., J. Jiménez, O. Aguirre, y E. Treviño. 2006. Estimación de carbono almacenado en el bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL* 9(2): 179-188.

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 y E. Jurado. 2007. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en especies de encino y pino en Iturbide, N.L. *Ciencia Forestal en México* 32(1): 39-56.

Rodríguez R., J. Jiménez, J. Meza, O. Aguirre y R. Razo. 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4 (2):215 -222.

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, G., H. De Los Santos, V. González, A. Aldrete, A. Gómez y A. Fierros. 2012. Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de pino de rápido crecimiento en Oaxaca. *Madera y Bosques* 18(1):25-41.

Rodríguez, V. 2013. Estimación dasométrica de carbono almacenado en un bosque de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham. Del paraje El Cedral del Parque Nacional El Chico Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 100 p.

Rojo, G., J. Jasso, J. Vargas, D. Palma y A. Velázquez. 2005. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39: 449-456.

Rojas-García, F., P. Martínez-Zurimendi, M. Olgún y B. De Jong. 2009. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en México. ECOSUR-CONAFOR. Inédito.

Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México. 432 pp.

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.

SEMARNAT 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC). Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf

Siccama, T., S. Hamburg, M. Arthur, R. Yanai, F. Bormann y G. Likens. 1994. Corrections to Allometric Equations and Plant Tissue Chemistry for Hubbard Brook Experimental Forest. *Ecology* 75 (1): 246-248.

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.

Searle, S.R. 1997. *Linear Models*. Clasic Edition, Wiley, New York.

Silva F. y J. Návar. 2009. Estimación de factores de expansión de carbono en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2): 155-160.

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.

Shmulsky R. and P.D. Jones. 2011 *Forest Products and Wood Science*. 6th Edition. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-0-8138-2074-3.

- Smith, T. y K. Whelan. 2006. Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management* 14:409-419.
- Stamm, A.J. 1964. *Wood and cellulose science*. New York: The Ronald Press. 549 p.
- Thomas C.E. and Rennie J.C. 1987. Combining Inventory Data form Improved Estimates of Forest Resources. *Southern Journal of Applied Forestry*. 11(3): 168-171
- Tomas, C. 2013. Estimación de biomasa y carbono mediante ecuaciones alométricas en *Quercus laurina* Humb. y *Quercus rugosa* Née en predios bajo manejo del ejido San Pablo Ixayoc, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 54 p.
- Valencia, M.S. y J. Vargas. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1):81-87.
- Van Wagner C.E. 1982. Practical aspects of the line intersect method. Information Report PI-X-12. Petawawa National Forestry Institute. Canadian Forest Service. Chalk River, Ontario, Canada. Pp 11
- Velasco Bautista E., H. Ramírez M., F. Moreno S., A. de la Rosa V. 2003. Estimadores de razón para el Inventario Nacional Forestal de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vol. 28, No. 94.
- Victoria-Hernández, A., Niño-Alcocer, M., Rodríguez-Ávalos J. A. y J. A. Argumedo-Espinoza. 2011. Generación de Información de Uso del Suelo y Vegetación y Convenios a escala 1:50 000. INEGI, Aguascalientes, México. Pp. 14
- Vigil, N. 2010. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl. en el campo forestal experimental "Las Cruces", Texcoco, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 61 p.
- Villaseñor J. L. y Ortiz E. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* No. 75. Pp 105-135.
- Williamson G.B. and Wiemann M.C. 2010. Measuring wood specific gravity ... Correctly. *American Journal of Botany* 97(3): 519-524.
- 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>.