

BASES DE DATOS PARA LOS INVENTARIOS ESTATALES DE GASES EFECTO INVERNADERO: FASE INICIAL EN 12 ESTADOS DE MÉXICO

DATA BASES FOR THE STATE GREENHOUSE GASES INVENTORIES: INITIAL PHASE IN 12 STATES OF MEXICO

Fernando Paz^{1(†)}, Fabiola Rojas², Marcela Olguín², Sara Covaleda² y Ma. Isabel Marín²

¹Colegio de Postgraduados y Programa Mexicano del Carbono. Chiconautla No. 8, Col. Lomas de Cristo, CP 56230, Texcoco, Estado de México.

²CABEMAS. Chiconautla No. 8, Col. Lomas de Cristo, CP 56230, Texcoco, Estado de México.

[†]Autor para correspondencia: ferpazpel@gmail.com

RESUMEN

La información y conocimiento son elementos clave para el desarrollo de programas y acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático. Para cumplir con los compromisos de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) en relación con desarrollo de inventarios nacionales de gases efecto invernadero (INEGEI), es necesario contar con bases de datos de los almacenes de carbono a nivel local. Asimismo, los requerimientos de la Ley General de Cambio Climático de México establecen el desarrollo de programas estatales de acción ante el cambio climático (PEACC) como elemento de la planeación a escala de los estados. Adicionalmente, el mecanismo REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal evitada más conservación, incremento de los almacenes de carbono y manejo forestal sustentable) plantea un reto importante para armonizar la escala de proyectos (local) con la contabilidad nacional de emisiones. En esta perspectiva, en este trabajo se presenta el desarrollo de una base de datos con información de almacenes y flujos de carbono en doce estados de México, para generar los elementos necesarios a escala local para los INEGEI, REDD+ y los PEACC; se discutieron los problemas y limitaciones encontrados para plantear recomendaciones.

Palabras clave: PEACC; REDD+; almacenes y flujos de carbono; mitigación y adaptación.

ABSTRACT

Information and knowledge are key elements for the development of programs and actions for mitigation and adaptation to climate change. To comply with Mexico's commitments to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in relation to the development of national inventories of greenhouse gases (NIGHG), it is necessary to have databases of carbon stocks and fluxes at the local level. Likewise, the requirements of the General Law of Climate Change of Mexico establish the development of state programs of action against climate change (PAACC) as an element of planning at the state scale. In addition, the REDD+ mechanism (Reduction of Emissions from avoided Deforestation and forest Degradation plus conservation, increase of carbon stocks and sustainable forest management) poses an important challenge to harmonize the scale of projects (local) with national emissions accounting. In this perspective, this paper presents the development of a data base with information of carbon stocks and flows in twelve states of Mexico, to generate the necessary elements at a local scale for the INEGEI, REDD+ and the PEACC, where the problems and limitations were discussed in order to make recommendations.

Index words: PAAC; REDD+; carbon stocks and fluxes; mitigation and adaptation.

INTRODUCCIÓN

Ante la problemática del cambio climático, en 1992 se adoptó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Climático (CMNUCC), para el establecimiento de un marco de acción orientado a la estabilización de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. La CMNUCC entró en vigor en marzo de 1994 y ha sido ratificada por 197 países (CMNUCC, 2014). A nivel general, los dos grandes logros de la CMNUCC en la lucha contra el cambio climático han sido el alcance de dos grandes acuerdos globales: el Protocolo de Kioto (adoptado en 1997) y el Acuerdo de París (adoptado en 2015).

El mecanismo REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal evitada) fue planteado a partir del 2005 en la Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en inglés) número 11 en Montreal, Canadá, en donde Costa Rica y Papúa Nueva Guinea sometieron una propuesta para que se consideraran las contribuciones de la deforestación en las emisiones GEI, que representó en ese entonces el concepto de RED (solo deforestación). Actualmente, el mecanismo REDD+ incluye la Degradación forestal (segunda D) mas (+) la conservación, el incremento de los almacenes de carbono y el manejo forestal sustentable. Las negociaciones en la CMNUCC han seguido una ruta de acuerdos para estructurar este mecanismo (CMNUCC, 2016). Además de la estrategia nacional REDD+ (CONAFOR, 2015), un elemento importante es el sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV), que requiere de datos sobre los contenidos de carbono en los diferentes almacenes en los ecosistemas forestales.

México como país No Anexo I, es decir, sin obligaciones de reducir emisiones, adquirió el compromiso de presentar comunicaciones nacionales sobre el estado de las emisiones de GEI en el país a través de Inventarios Nacionales de GEI (INEGEI). Los lineamientos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para los diferentes sectores o categorías de reporte (IPCC, 1997, 2006) definen los elementos de los INEGEI, junto con las guías de buenas prácticas asociadas (IPCC, 2003).

En la categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS) se estiman las emisiones generadas por prácticas de manejo de la vegetación, así como los cambios en el uso del suelo. Este sector es un caso particular a nivel nacional (de Jong *et al.*, 2006) a diferencia de los otros sectores que

conforman el INEGEI, por presentar problemas en dos órdenes importante: (a) Las metodologías propuestas por el IPCC no son de todo apropiadas en varios aspectos (*i.e.* las clases de vegetación utilizadas a nivel nacional *versus* las propuestas en las guías de buenas prácticas (IPCC, 2003); y, b) en el país no existen estadísticas forestales y de otros usos, colectadas en forma regular y sistemática, utilizando metodologías consistentes a lo largo del tiempo y manteniendo series históricas. Estas deficiencias han conducido a carencias importantes en los datos de actividad forestal (y de otros ecosistemas) que se requieren para elaborar el inventario de GEI, específicamente en cuanto a la estimación de flujos de GEI en forma dinámica. Cabe señalar que el inventario nacional forestal y de suelos (INFyS) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), iniciado en 2004, tiene como objetivo establecer una red de parcelas de monitoreo continuo que proporcione la información de cambios en el tiempo en los reservorios de carbono de los ecosistemas forestales, por lo que se espera que en los INEGEI recientes se tenga una menor incertidumbre en esta sección (de Jong *et al.*, 2009).

La actualización del inventario del sector Silvicultura y Otros Usos del Suelo (SOUS) para el año 2006 arroja los siguientes resultados generales: el sector SOUS aportó un promedio de emisiones en el período 1990-2006 de 80 162 Gg CO₂ (de Jong *et al.*, 2009). Los cambios de Tierras Forestales a Tierras Agrícolas y de Tierras Forestales a Praderas fueron las fuentes más importantes de emisiones durante el periodo de análisis, aunque cabe destacar que el proceso de degradación paulatina de Tierras Forestales es una fuente importante en el balance neto. Un total de 52 180 y 62 321 Gg CO₂ fueron liberados por la combustión y descomposición de biomasa, respectivamente y, entre 17 598 a 23 868 Gg CO₂ fueron derivadas de los suelos minerales (de Jong *et al.*, 2009). En el caso de las emisiones de los suelos, éstas se consideran como subestimadas (de Jong *et al.*, 2009).

El cambio de uso de suelo hacia cubiertas no forestales trae aparejado emisiones considerables de carbono producto de la combustión y descomposición de la biomasa vegetal removida de los bosques, así como la pérdida de carbono orgánico de los suelos. Asimismo, el manejo no sustentable de los bosques, en los que la extracción domina sobre la regeneración y la reforestación, implica emisiones adicionales de gases de efecto invernadero.

Los flujos disminuyeron significativamente en el período de 2003 a 2006, debido a que las tasas de

cambio de uso de suelo disminuyeron sustancialmente, específicamente en la categoría Tierras Forestales a Praderas y la degradación de bosques intactos a bosques degradados. Para el mismo período se observó un ligero aumento en la categoría Tierras Forestales a Tierras Agrícolas comparado con el período 1990 a 2002 (de Jong *et al.*, 2009).

La incertidumbre en las estimaciones totales es alta (más del 50% en muchos almacenes), especialmente en la categoría Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales (de Jong *et al.*, 2009).

Aunque los niveles de incertidumbre en las estimaciones de emisiones de GEI en el sector SOUS son altos, especialmente en la categoría de Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales, se espera que con los esfuerzos recientes del INFyS se pueda reducir sustancialmente esta incertidumbre. Actualmente se está haciendo un gran esfuerzo a nivel nacional con el fin de mejorar la calidad e incrementar la cantidad de información necesaria para realizar los inventarios nacionales de GEI en el sector SOUS (de Jong *et al.*, 2009).

A partir de 2009 CONAFOR incluyó la medición de los cinco reservorios de carbono considerados por el IPCC (2006) en el INFyS a nivel nacional para los aproximadamente 22 000 conglomerados establecidos entre 2004 y 2008, lo que permite por primera vez reportar los reservorios de carbono en la materia muerta sobre el suelo y mantillo y estimar con más exactitud los flujos de Tierras Forestales que permanecen como Tierras Forestales. También permite establecer una relación directa entre el carbono en biomasa y carbono en el suelo.

Por otro lado, los estados de la República han realizado sus inventarios forestales estatales, con la coordinación de la CONAFOR, lo que permite la integración de toda la información generada en una base nacional. El desarrollo de bases estatales para el INEGEI, en conjunto con los esfuerzos en marcha, permitirá reducir sustancialmente las incertidumbres asociadas al sector SOUS. La integración de la escala estatal, en forma coherente, con la nacional permitirá contar con planes nacionales y estatales acoplados y armonizados.

En México, la Ley General de Cambio Climático (LGCC) establece el requerimiento de que los estados de la República desarrollen Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) para la planeación e implementación de acciones de mitigación y adaptación ante el cambio climático. Con

excepción de unos cuantos estados con una tendencia fuerte hacia su industrialización, donde el sector SOUS, generalizado a ASOUS al incluir el sector agropecuario, no es una fuente muy importante de emisiones, la mayoría de estos presenta la característica de que el sector más importante de emisiones está asociado a los cambios en el uso del suelo. No obstante lo definido en la LGCC, la mayoría de los estados del país no cuentan con bases de datos sistematizados que reflejen la escala de planeación estatal, además de que la información y conocimiento adicional al INFyS está dispersa y, generalmente, en literatura gris. Ante este panorama es necesario realizar esfuerzos para que los estados tengan bases de datos que les permitan contar con los elementos, estandarizados con relación al INEGEI, para el desarrollo de inventarios estatales de emisiones GEI (IEEGEI), como paso previo para el desarrollo de sus PEACC.

En el plano nacional se cuenta con información del INFyS (Inventario Nacional Forestal y de Suelos), además de otras bases de datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), a escala gruesa para realizar inventarios nacionales de GEI (INEGEI). El uso de las bases nacionales a escala estatal conduce a niveles altos de incertidumbre, por lo que es necesario recabar toda la información disponible en los estados para complementar la base nacional. La tarea de recabar, documentar, estandarizar y desarrollar una base de datos estatal no es fácil y requiere de paciencia en la búsqueda y seguimiento de los hallazgos en la literatura gris.

El Programa Mexicano del Carbono (PMC), principalmente a través del Colegio de Postgraduados (COLPOS) y El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), han estado desarrollando aproximaciones de inventarios de gases de efecto invernadero del sector ASOUS, líneas base y diversos esquemas de modelación para establecer las bases de los programas de cambio climático estatales (Paz, 2009; de Jong *et al.*, 2010). El proyecto piloto del estado de Chiapas (Covaleda, 2009) fue desarrollado por el COLPOS-PMC como un primer ejercicio metodológico a nivel estatal para analizar la factibilidad de desarrollar bases de datos estatales para los IEEGEI. La experiencia obtenida fundamenta la propuesta de extenderla a otros estados del país, para consolidar la estrategia de desarrollo de los PEACC y escenarios de referencia para REDD.

En concordancia de las necesidades del país de conjuntar esfuerzos para reducir incertidumbres en los factores de emisión (densidades de carbono) a la escala estatal, como fundamento para contar con inventarios de GEI robustos, que reflejen las escalas locales y, con el apoyo del Instituto Nacional de Ecología (hoy INECC, al incluirse el Cambio Climático en sus responsabilidades), se desarrolló un proyecto piloto inicial para expandir los protocolos desarrollados para Chiapas de recopilar información (Covaleda, 2009) hacia nuevos estados: Baja California, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Querétaro, Quintana Roo, Tabasco, Tlaxcala y Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la búsqueda de información se identificaron fuentes de información locales en cada entidad involucrada en el proyecto: instituciones académicas: universidades y tecnológicos; instituciones de investigación; órganos de gobierno estatal: comisiones forestales estatales y semejantes; organizaciones de la sociedad civil y, prestadores de servicios técnicos forestales (PSTF). Así mismo, se elaboró una lista de los reservorios de carbono y las variables de interés para el proyecto: biomasa sobre el suelo (DAP diámetro a la altura del pecho, DN o diámetro normal, altura, área basal, especies, volumen comercial, volumen maderable, perímetro, altura del dosel, biomasa arbórea, medición de carbono); biomasa bajo el suelo (raíces gruesas (o estructurales) mayores a 5 cm; raíces finas menores a 5 mm, determinación de carbono); madera muerta (*árboles muertos y tocones*: diámetro, altura, determinación carbono; *ramas y ramillas sobre el suelo*: longitud, diámetro, peso, estado de descomposición); mantillo (*hojarasca*: número de trampas, superficie trampa, periodo de muestreo, peso seco, producción de hojarasca; determinación carbono; *mantillo*: peso seco, profundidad (cm), estado de descomposición, determinación de carbono, velocidad de descomposición) y, suelo (instrumento o utensilio de muestreo, tipo de muestra, profundidad de muestreo, textura, determinación carbono, densidad aparente, respiración del suelo, materia orgánica del suelo).

Para sistematizar la información encontrada se elaboraron fichas de información, conformadas por los siguientes elementos: palabra clave, identificador, autor, año, título, institución o el nombre de la revista y resumen. También se elaboró un directorio de autores asociado a la revisión documental, con los siguientes

datos: nombre, institución, estatus, teléfono, correo electrónico y especialidad.

Para organizar la información contenida en los documentos localizados en la revisión exhaustiva de literatura se utilizó el esquema propuesto en la experiencia de Chiapas (Covaleda, 2009). Con ello, se pretende disponer de la información básica sobre la ubicación, tipo de vegetación, manejo, fechas de muestreo y metodologías empleadas en la medición de los distintos componentes del ecosistema relacionados con el ciclo del carbono.

La información relativa a parcelas experimentales fue organizada en dos tipos diferentes de base de datos:

- a) La primera incluyó información relativa a la ubicación geográfica de las parcelas y a los detalles de las metodologías empleadas para la medición de los almacenes de carbono considerados (base de datos ubicación-metodología).
- b) La segunda concentró toda la información recabada en la parcela experimental de acuerdo con una serie de bases de datos estandarizadas diseñadas para introducir la información de los distintos almacenes de carbono (biomasa de árboles, arbustos, juveniles, plántulas y herbáceas, más materia muerta, mantillo y suelo). La información relativa a cada almacén de carbono fue tratada por separado ya que los cálculos necesarios en cada caso son diferentes. Para facilitar el proceso de organización de la información, a cada parcela experimental se le asignó un identificador estándar construido a partir de los siguientes datos: estado, municipio, tipo de vegetación y parcela.

Para el desarrollo de bases de datos de la información de muestreos asociados a los elementos del IEEGEI, se realizó una clasificación de la información encontrada en distintos niveles (datos individuales en parcelas, datos agregados por parcela y análisis por zonas).

Selección del año base

Los países miembros de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático están comprometidos a reportar y actualizar de forma periódica el balance neto de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. En el caso

de aquellos países industrializados de la Convención (países Anexo I), que además ratifiquen el Protocolo de Kioto, están obligados a reducir un porcentaje de sus emisiones actuales de GEI respecto a un año base histórico (CMNUCC, 2015). Este año base histórico en la mayoría de los países Anexo I corresponde a 1990. México es miembro del grupo de países llamados No Anexo I (no industrializados) del Protocolo. Aunque el país no tiene la obligación de realizar acciones para la reducción de sus emisiones de GEI, se ha propuesto una meta voluntaria de disminuir entre un 20 y 30% de sus emisiones para el 2020, según el Programa Especial de Cambio Climático; compromiso que aumentó posteriormente a reducir el 30% de las emisiones reportadas en el año 2000 para el año 2020 (DOF,

2009). Además, México es a la fecha el único país No Anexo I que ha elaborado cinco inventarios nacionales de emisiones de GEI. En todos estos reportes, México ha empleado como año base a 1990.

Con el propósito de asegurar la coherencia entre los reportes de inventarios de emisiones de GEI que se realicen a nivel estatal respecto a los nacionales, la información compilada en este proyecto también consideró como año base a 1990. Sin embargo, con el fin de elaborar una base de datos histórica lo más completa posible, con la cual calibrar herramientas de sensores remotos y modelación, también se integraron todos aquellos trabajos relativos a reservorios de carbono y flujos de GEI, elaborados con fecha anterior al año de base definido (Figura 1).

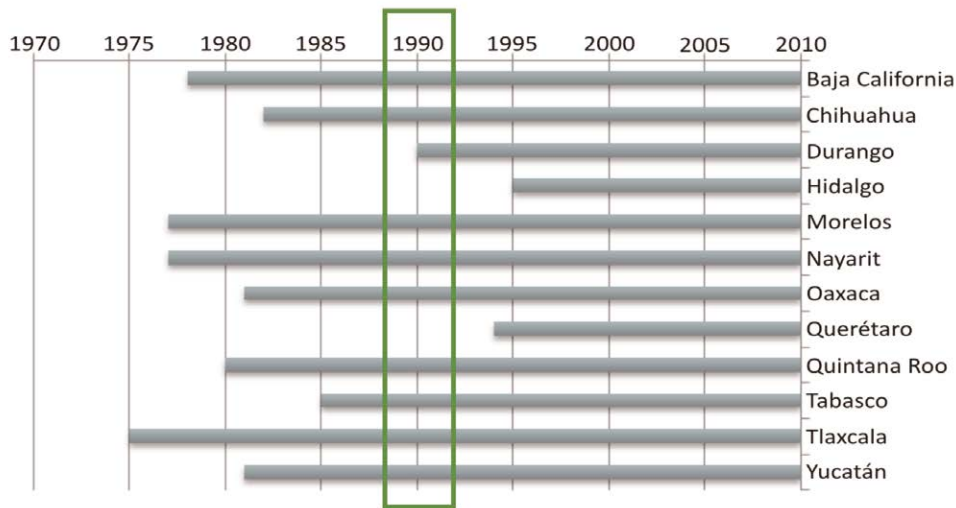


Figura 1. Definición de año base, en relación con el periodo de información disponible.

Revisión de información

De la revisión realizada (hasta el 2010), se construyeron bases de datos donde se describen los tópicos que se utilizaron en la búsqueda, el nombre del autor, la fecha en que se elaboró el trabajo, el título del documento, la institución académica o nombre de la revista donde se publicó el documento, así como una breve descripción del trabajo no mayor a 50 palabras.

Conforme se fueron localizando trabajos se elaboró el directorio de autores, en el cual se puede encontrar el nombre del autor, la institución donde labora o estudia. Además, se investigó la línea de trabajo actual de cada autor. En el caso de los investigadores o técnicos académicos se les invitó a participar en el grupo de inventarios a nivel estatal. En el caso de los estudiantes se les invitó a formar parte del consorcio estudiantil CABEMAS del Programa Mexicano del Carbono

(se aclara el grado que estudia). Asimismo, se buscaron medios para contactar a cada autor (número telefónico, correo electrónico, etc.).

Para contactar a los autores y/o investigadores responsables de los trabajos se utilizó el directorio. Esto se hizo con el propósito de solicitarles las bases de datos asociadas a sus trabajos, dado el interés fue conseguir la información en estado puro, es decir, tal y como se tomó del campo o laboratorio y antes de que se aplicara algún cálculo a los datos.

Base de datos generada

Se diseñó una base de datos tomando como referencia el esquema Chiapas, que consideró por separado los componentes del ecosistema relacionados con el ciclo del carbono (Figura 2).

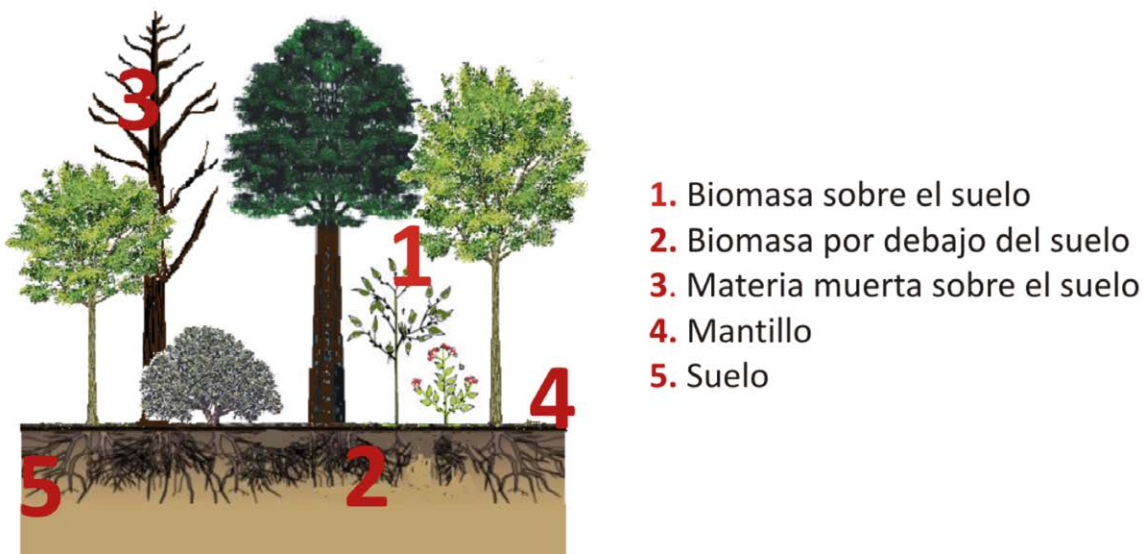


Figura 2. Reservorios de carbono considerados en el proyecto.

La base de datos resume la información básica sobre la localización, tipo de vegetación, fechas de muestreo y metodologías empleadas en la medición de reservorios y en los flujos de carbono:

- a) Reservorios de carbono: biomasa aérea (árboles, repoblado, arbustos, plántulas, herbáceas), materia muerta, mantillo, biomasa subterránea y suelo.
- b) Flujos de carbono: producción de hojarasca, velocidad de descomposición del mantillo, respiración del ecosistema y respiración edáfica.
- c) Las bases de datos están construidas en libros de Excel^{MR}, formada por catorce apartados, cada uno de los cuales contiene información específica sobre los reservorios y flujos de carbono recién mencionados.

De acuerdo con el esquema de la base de datos de Chiapas (Covaleda, 2009), se realizó una clasificación de la información en distintos niveles en función del conjunto de datos asociado a cada trabajo encontrado o proporcionado por las organizaciones locales.

Cada nivel está relacionado con la “pertinencia” y utilidad de la información contenida en los documentos revisados para el proyecto. Los documentos clasificados dentro del Nivel 3 son los de mayor “pertinencia”. Para determinar a qué nivel de información corresponde cada trabajo se definieron sus características.

Nivel 3: trabajos con información georeferenciada, datos precisos de la zona y base de datos asociada a inventarios de vegetación y/o muestreo de otros almacenes de carbono (mantillo, materia muerta, suelo a diferentes profundidades, etc.) o flujos. En estos casos, la información proporcionada permite calcular el carbono asociado a cada almacén muestreado o un flujo entre reservorios.

Nivel 2: trabajos con información georeferenciada, con datos generales o precisos de la zona y resultados resumidos sin base de datos asociada. En los trabajos incluidos en este nivel puede faltar información sobre la ubicación de las parcelas y/o no se ha tenido acceso a las bases de datos de información bruta por la dificultad de contactar a los autores o por otras causas. Se pretende que los trabajos clasificados en este nivel pasen a Nivel 3 una vez que se consiga la información faltante.

Nivel 1: trabajos o proyectos ubicados a nivel de comunidad, que cuentan únicamente con información general, pero representan áreas de importancia para las instituciones locales. En estos lugares podría, eventualmente, plantearse el establecer parcelas de muestreo. La población local podría colaborar en el proceso de muestreo, especialmente si existen monitores campesinos o técnicos comunitarios formados por organizaciones sociales civiles.

Nivel 0: trabajos elaborados en la entidad o en la región, pero cuyas variables medidas no se pueden verter en las bases de datos consideradas en este proyecto. Tal es el caso de proyectos relacionados con el carbono medido en sistemas acuáticos, contaminación

de suelos, ordenamiento territorial o aquellos trabajos de carbono relacionados con el enfoque social y de gobernanza.

Documentación de la base de datos

Para llenar la base de datos de los trabajos localizados se contó con el documento original, pero para varios apartados se requirió la comunicación personal con el autor para aclarar las dudas surgidas. El apartado de documentación de la base de datos consta de varios subapartados donde se introdujo la información que se especifica a continuación:

- Tipo: se describe si el documento es tesis (indicando si se trata de licenciatura, maestría, doctorado), artículo científico, plan de manejo, informe técnico, base de datos no publicada, etc.
- Título del trabajo completo.
- Nombre del autor o autores.
- La institución donde se elaboró el trabajo citado o bien la revista, publicación o libro donde se publicó el documento.
- La fecha de publicación.

A cada documento encontrado le fue asignado un “identificador” único, construido a partir de claves similares para todos los trabajos. Este identificador está conformado por ocho dígitos en los casos en los que no se tuvo acceso a la base de datos (Nivel 0, Nivel 1) y de once dígitos para los trabajos en los que se cuenta con datos de parcelas de muestreo (Nivel 2, Nivel 3).

La utilización de un identificador único permitió integrar la base de datos de resultados de la búsqueda con bases de datos individuales referentes a los reservorios de carbono. Las bases individuales se diseñaron de acuerdo con los criterios de estandarización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total se localizaron 691 documentos con relación a reservorios o flujos de carbono (Figura 3). Con base en la clasificación anterior se consiguieron 129 trabajos de Nivel 3 (documentos y la base de datos asociada al estudio). Respecto al Nivel 2 se tienen 169 trabajos de los cuales se cuenta con el documento y se está en la negociación con el autor

para tener acceso a la base de datos asociada. Los Niveles 2 y 3 son los más importantes para alcanzar los fines de estimación de emisión de GEI calibración y la eventual calibración de modelos.

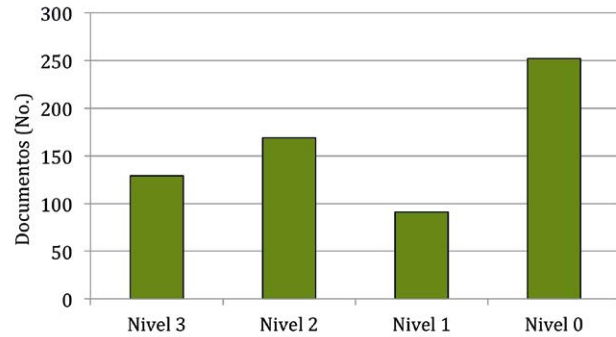


Figura 3. Documentos localizados de acuerdo con su clasificación.

Base de datos estandarizada de biomasa sobre el suelo

Árboles. Se cuenta con un formato para el cálculo de la biomasa aérea de árboles para cada uno de los doce estados, que incluye los datos de especie (nombre científico) y/o género (no siempre se cuenta con una identificación de los árboles a nivel de especie) DAP y altura total del árbol y la superficie de la parcela de medición. Se indicó la clave de la especie y el género de cada árbol en función de la clasificación de especies de la CONAFOR. Tlaxcala es el estado del cual se tienen mayor número de parcelas (185) con datos en bruto referentes a biomasa aérea de árboles (Figura 4).

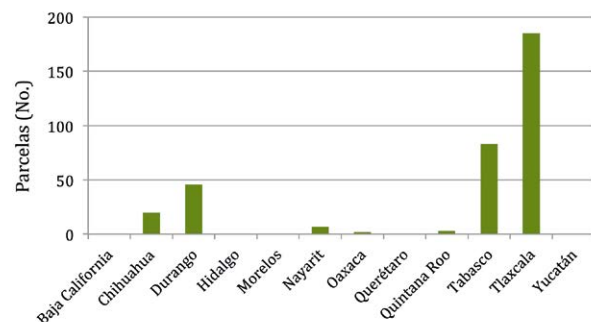


Figura 4. Número de parcelas para el reservorio de biomasa aérea árboles.

Replado. La construcción de la base de datos estandarizada es similar a la descrita para los árboles adultos; sin embargo, muchos estudios únicamente incluyen un conteo de los juveniles dentro de una subparcela experimental. En este caso, para estandarizar

la información fue necesario incluir: el nombre científico de las especies encontradas, la dimensión de la parcela de muestreo y el número de individuos. Nayarit es el estado del que se tiene un mayor número de parcelas (15) con datos en bruto de biomasa aérea del repoblado (Figura 5).

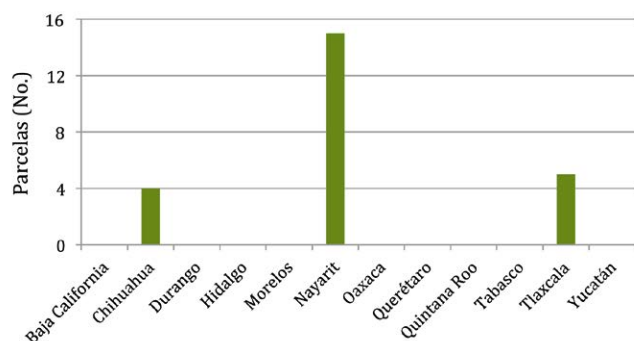


Figura 5. Número de parcelas para el reservorio de biomasa aérea repoblado.

Arbustos. Los estados de Baja California y Chihuahua son los únicos que presentaron bases de datos de parcelas para el reservorio de carbono en arbustos (67 y 13, respectivamente). La base de datos estandarizada es similar a la descrita para los árboles.

Herbáceas. Los muestreos que incluyan la extracción de la biomasa de herbáceas se estandarizaron conforme la siguiente información: peso seco, superficie de la parcela de muestreo y, si se ha determinado, concentración de carbono. Para este reservorio únicamente se localizaron 11 bases de datos asociadas en el estado de Chihuahua.

Plántulas. En general, las plántulas fueron contadas dentro de parcelas de reducidas dimensiones, por lo que la base de datos estandarizada para este compartimento fue similar a la del conteo del repoblado. En caso de contarse con datos de diámetro y/o altura se construyó una base similar a las descritas para adultos. Para este reservorio el estado de Chihuahua también fue el único en el que se encontraron 18 bases de datos a nivel parcela.

Base de datos estandarizada de biomasa bajo el suelo

Se encontraron pocas bases de datos con información sobre contenido de raíces finas y raíces gruesas en el suelo. Los datos disponibles fueron el peso seco de las raíces extraídas en varios niveles de profundidad

y las determinaciones de carbono efectuadas en los estados de Nayarit, Oaxaca e Hidalgo. Asimismo, se encontraron estudios de raíces gruesas en los estados de Tlaxcala y Tabasco (Figura 6).

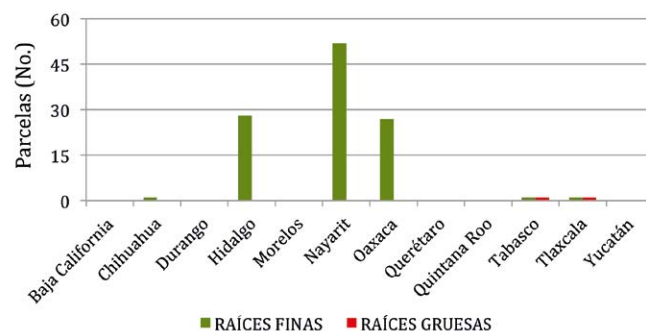


Figura 6. Número de parcelas para el reservorio de biomasa bajo el suelo.

Base de datos estandarizada de materia muerta sobre el suelo

Los datos requeridos en el caso de tocones y árboles muertos son: nombre científico (o género, al menos), DAP o diámetro medido a cierta distancia de la base del tronco y su altura total, así como la dimensión de la parcela de muestreo. En el caso de las ramas caídas la base de datos estandarizada incluye la longitud de la rama, diámetro de las ramas medidas, la densidad de la madera y la longitud del transecto utilizado para la medición. Cuando se cuenta con análisis de laboratorio se incluye el peso seco de las ramas y las determinaciones de carbono llevadas a cabo. Para este reservorio sólo se encontraron bases de datos de parcelas para el estado de Tlaxcala donde se midieron combustibles forestales (6), tocones y árboles muertos en pie (20).

Base de datos estandarizada de mantillo

El tipo de información encontrada relativa al mantillo se refiere a muestreos con extracción de la capa de mantillo del suelo forestal y a mediciones de profundidad del mantillo en parcelas experimentales. La base de datos estandarizada incluye el peso seco del mantillo extraído, la superficie y la profundidad de la parcela de extracción y la concentración de carbono determinada en laboratorio. Para el reservorio de mantillo el estado de Nayarit presentó un mayor número de bases asociadas y para el flujo de hojarasca fue el estado de Hidalgo (Figura 7).

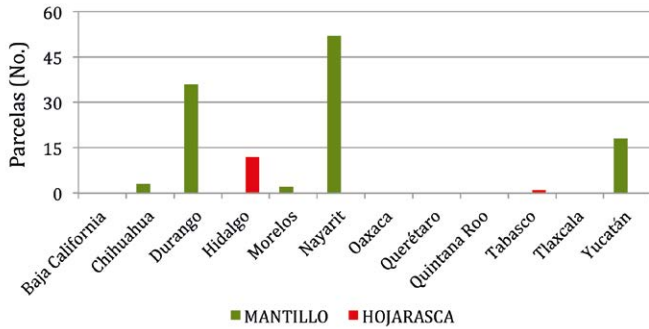


Figura 7. Número de parcelas para el reservorio de mantillo y producción de hojarasca.

Base de datos estandarizada de suelo

Los datos que incluye la base de suelos son: profundidades de muestreo de suelos, espesor de los horizontes muestreados, datos de materia orgánica del suelo (MOS, en porcentaje) y/o carbono orgánico del suelo (COS, en porcentaje), densidad aparente, porcentaje de arcilla y dato de fragmentos gruesos. Los estados de Morelos, Tabasco y Nayarit presentaron el mayor número de bases de datos asociadas a este reservorio (Figura 8).

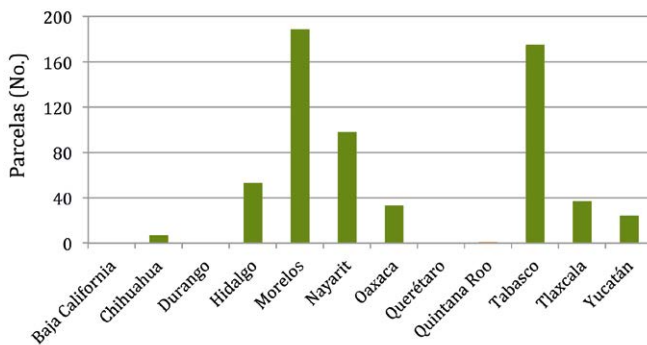


Figura 8. Número de parcelas para el reservorio de suelo.

Base de datos integrada y sus limitaciones

La elaboración de un inventario de gases del sector ASOUS a nivel estatal, requerimiento para la implementación de proyectos REDD+, depende de la cantidad y calidad de la información disponible con relación a los almacenes de carbono de los ecosistemas forestales (inventarios forestales y de suelos básicamente) y otros usos del suelo. Por ello, un punto que resulta clave es la disponibilidad de información detallada a nivel local, con la cual se disminuya la incertidumbre asociada al escenario de referencia calculado para un determinado estado o región.

La creación de una base de datos de almacenes y flujos de carbono estandarizados a nivel estatal a partir de estudios generados localmente, supone un gran esfuerzo de búsqueda bibliográfica de información en diferentes tipos de instituciones. Además de la búsqueda y contacto con autores de dichos trabajos, para promover acuerdos que faciliten el acceso e integración de sus bases de datos. Posteriormente, se requiere un gran esfuerzo para elaborar bases de datos estandarizadas diseñadas para incluir trabajos con diferentes metodologías de toma de datos en campo y/o análisis de laboratorio.

En total se localizaron 691 trabajos relacionados con el ciclo del carbono. Los estados con mayor número de estudios son Tabasco, Oaxaca y Chihuahua; por el contrario, Nayarit, Baja California y Querétaro presentaron muy pocos estudios de interés para el proyecto (Figura 9).

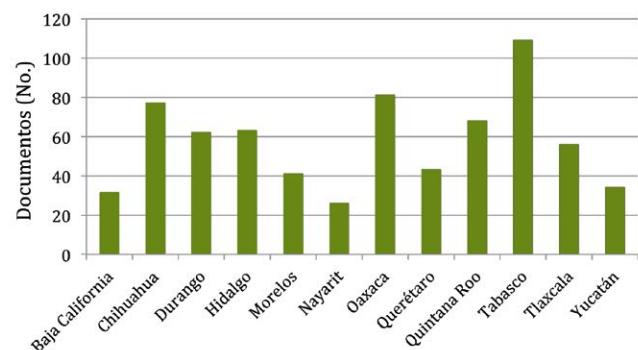


Figura 9. Documentos relacionados con el ciclo del carbono para doce estados de México.

En términos generales, se encontró una tendencia a medir un solo reservorio de carbono lo que dificulta tener una visión del conjunto del ecosistema y comprender las transferencias que se producen entre reservorios. El reservorio de carbono más estudiado fue el suelo, seguido de la biomasa sobre el suelo.

Respecto a los estudios del reservorio de carbono en suelo se encontraron datos históricos como materia orgánica en suelo y carbono total en perfiles que tenían como fin describir el medio físico de una región.

En los últimos años se observa un sesgo hacia la medición de carbono en biomasa aérea. En este último caso, el estrato arbóreo es el de mayor representación (Figura 10). De hecho, a partir de la búsqueda de información que se realizó, se observó una tendencia histórica en la que los trabajos más antiguos van dirigidos a estimar el volumen maderable de las masas forestales. Posteriormente se comenzaron a realizar trabajos

relativos a la estructura de los bosques y con el propósito de establecer estrategias de manejo como cortas. Los trabajos más recientes están direccionados a estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa.

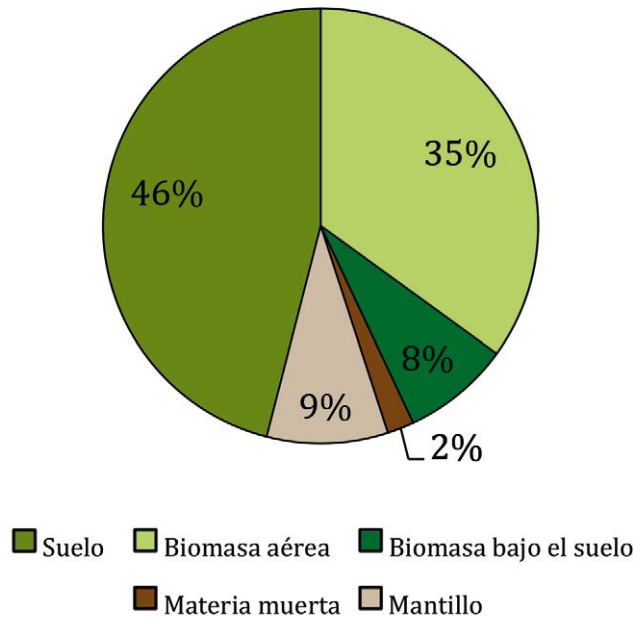


Figura 10. Bases de datos asociadas por reservorio de carbono.

Los reservorios de materia muerta sobre el suelo y biomasa bajo el suelo son los que tienen menor cantidad de estudios. Para el reservorio de materia muerta sobre el suelo, se tuvo que indagar ampliamente, pues algunos autores al momento de levantar el inventario no separaron árboles vivos de árboles muertos. Asimismo, difícilmente se cuenta con la determinación de las especies de árboles muertos. En este caso resultaron de utilidad los estudios relacionados con incendios forestales.

Una vez clasificada la información, al contactar con los autores de los trabajos de interés el problema surge por el hecho de que muchas personas e instituciones son muy celosas de su información y no la proporcionan fácilmente, sobre todo si se trata de proyectos aun en desarrollo. Por ello es de vital importancia contar con convenios de confidencialidad por escrito donde se especifique el uso que se va a hacer de la información y donde se aseguren los derechos de autoría de la misma. Hasta el momento se tienen 1359 bases de datos asociadas por reservorio de carbono en estatus de completa confidencialidad. Los estados cuyos autores proporcionaron más bases de datos son Tabasco, Tlaxcala y Nayarit (Figura 11).

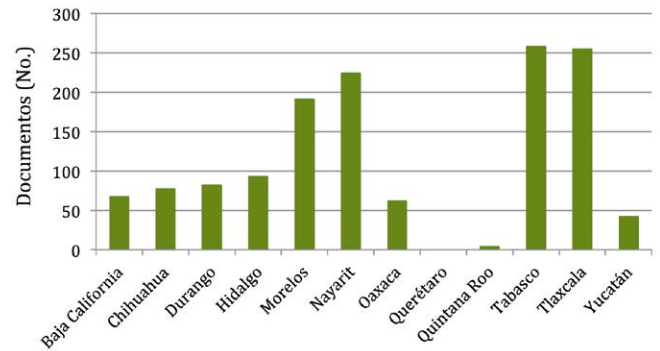


Figura 11. Número de documentos Nivel 3 por estado que tienen una base de datos asociada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en la experiencia obtenida con la realización de este proyecto, se considera que hay varios aspectos que serán clave para el éxito de futuros esfuerzos de compilación e integración de datos orientados al soporte de inventarios de emisiones de GEI. Por ejemplo, dado el desconocimiento que se tiene en general sobre el tema de reservorios y flujos de carbono, es conveniente proporcionar una capacitación en el tema a los participantes estatales, para lograr una búsqueda eficaz de la información en diferentes tipos de fuentes (reportes, planes de manejo, artículos, memorias de congresos, etc.), así como la búsqueda en secretarías estatales, dependencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil.

Otro aspecto relevante que considerar tiene que ver con la organización de la información compilada. Debido a que la información obtenida suele ser muy heterogénea, se recomienda hacer una primera clasificación en función del conjunto de datos asociado a cada trabajo encontrado o proporcionado por las organizaciones locales. En este proyecto, la agrupación de los trabajos encontrados se hizo en función de los niveles de pertinencia en relación con los objetivos del proyecto y el detalle de los datos asociados.

Respecto a los problemas que se pueden encontrar al organizar la información recopilada, los más recurrentes son:

- Los tipos de vegetación reportados por los distintos autores para sus parcelas de muestreo son muy heterogéneos, lo que hace necesario asignar tipos de vegetación “estándar” a muchas parcelas, dificultando la asignación de identificadores.

- No todas las parcelas están georeferenciadas. En el caso de información de Nivel 3, se han admitido trabajos no georeferenciados pero en los que los autores tomaron mediciones y dejaron marcas en el terreno, de tal forma que aseguran que podrían regresar exactamente a las mismas parcelas si se quisiera georeferenciarlas.
 - No se conoce el *datum* de muchos de los trabajos.
 - Es frecuente que falten los datos de ubicación en cuanto a la altitud, pendiente, orientación, etc.
 - En ocasiones se cuenta con el dato de superficie de la parcela, pero falta el dato de dimensión mayor y menor de las parcelas de muestreos, en parcelas no circulares.
 - Hay una gran diversidad en cuanto a lo que los autores denominan árbol adulto, repoblado y plántulas. Los diámetros mínimos utilizados para definir el arbolado adulto varían mucho de unos trabajos a otros. Para el arbolado juvenil se utilizan diámetros mínimos, máximos, alturas mínimas y máximas a criterio de cada autor.
 - En muchas bases de datos de biomasa arbórea se mezcla la información sobre tocones y árboles muertos en pie.
 - En los muestreos de suelo se encuentra gran diversidad en el número de muestras simples por muestra compuesta, en las profundidades de muestreo (casi todos los trabajos llegan a 30 cm de profundidad). En cuanto a la densidad aparente se utilizaron diferentes métodos que arrojan diferente precisión a los datos obtenidos.
- ✓ Otro aspecto es que en algunos trabajos se utilizan subparcelas dentro de parcelas mayores. Por ejemplo, una parcela circular de 1000 m² en la que en una subparcela de 100 m² se miden todos los árboles con DAP > 5 cm y en el resto de la parcela se miden todos los árboles con DAP > 20 cm; lo anterior es importante tenerlo en cuenta a la hora de asignar las superficies de medición a los distintos tipos de datos.
 - ✓ Además, se han encontrado numerosos errores en la escritura de los nombres científicos de las especies, lo que ralentiza el proceso de estandarización.
 - ✓ En lo que respecta a la base de datos estandarizada de materia muerta el problema más común encontrado en esta parte fue la dificultad de identificación de la especie o género en tocones y árboles muertos.
 - ✓ En el caso del reservorio de mantillo es la escasez de información encontrada relativa a este compartimento de carbono.
 - ✓ En cuanto al suelo no se contó con el dato de fragmentos gruesos para ninguna de las bases.

La estandarización de la información asociada a las bases de datos brutas es un proceso muy lento y detallado que implica enfrentar una serie de dificultades:

- ✓ Uno de los principales problemas encontrados es que en muchos trabajos las especies se identifican únicamente por nombres comunes y la búsqueda de los nombres científicos correspondientes puede ser problemática. En este caso, se recomienda acudir a la fuente original de los datos en busca de los nombres científicos; el utilizar otras fuentes puede ser arriesgado dada la variabilidad de los nombres comunes de las plantas en distintas regiones.

Es importante mencionar que casi todos los estudios encontrados se centraron en la medición de la parte más estática del ciclo del carbono y muy pocos fueron los estudios sobre los flujos de carbono en los ecosistemas terrestres (de hecho, no se localizó ningún estudio relativo a la respiración edáfica o la respiración de los ecosistemas). Así mismo, fueron muy pocos los estudios encontrados que reportan una estimación del nivel de certidumbre asociado a sus datos. Por otra parte, la diversidad de metodologías empleadas y criterios de acotamiento de algunos reservorios (*i.e.* la separación entre árboles adultos y repoblado, la profundidad de muestreo de los suelos, etc.) dificulta la comparación entre estudios. De esta manera, se detecta la necesidad de llevar a cabo un proceso de estandarización de las metodologías empleadas para la medición de los distintos reservorios y flujos de carbono, a fin de empezar a generar datos que sean directamente comparables.

Por último, se considera que en el futuro deberán impulsarse proyectos enfocados a la medición tanto de los reservorios como de los flujos, con el fin de comprender de forma integrada la dinámica del carbono en los ecosistemas terrestres, identificar

aquellos sistemas que son sumideros netos de carbono y aquellos que son fuentes y, eventualmente, modelar cómo cambia la relación de los reservorios y los flujos de carbono terrestres ante procesos de perturbación natural y/o antrópica (*i.e.* REDD+), dado diferentes grados de certidumbre en los insumos.

Las bases de datos están disponibles en la página del Programa Mexicano del Carbono http://pmcarbono.org/pmc/bases_datos/generales.php. En un primer momento, el único requisito para su acceso es una solicitud de uso, bajo el compromiso general de uso en forma integrada, hasta que todos los autores den los permisos correspondientes para su libre acceso.

AGRADECIMIENTO

Los autores agracen el financiamiento otorgado por el Instituto Nacional de Ecología, Número de Registro NE/A1-042/2010, para la generación de la base de datos.

LITERATURA CITADA

- CMNUCC (Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2014. La convención del cambio climático. http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/la_convencion/items/6196.php (Consulta: 16 octubre, 2017).
- CMNUCC (Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2015. The Kyoto Protocol. 10th Anniversary, Timely Reminder Climate Agreements Work. <http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/kyoto-protocol-10th-anniversary-timely-reminder-climate-agreements-work/#downloads> (Consulta: 16 octubre, 2017).
- CMNUCC (Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2016. Key decisions relevant for reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries (REDD+). Decision booklet REDD+. http://unfccc.int/land_use_and_climate_change/lulucf/items/6917.php (Consulta: 17 octubre, 2017).
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2015. Estrategia Nacional para REDD+. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/bycc/redd-en-mexico/estrategia-nacional-redd-enaredd/> (Consulta: 17 octubre, 2017).
- Covaleda, S. 2009. Construcción de una base de datos y conocimiento asociada a la implementación de REDD+ en Chiapas. Reporte de Estancia Postdoctoral en COLPOS. 37 p. http://pmcarbono.org/pmc/descargas/biblioteca/count.php?file=Reporte_Sara_PostDoctorado (Consulta: 15 diciembre, 2017).
- de Jong, B., O. Masera, J. Etchevers, R. Martínez, F. Paz, M. Olguín, C. Anaya, C. Balbontín, M. Motolinia, M. y G. Guerrero. 2006. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1993 a 2002. Uso del Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Bosques. Reporte elaborado para el Instituto Nacional de Ecología. 78 p.
- de Jong, B., M. Olguín, F. Rojas, V. Maldonado, F. Paz, J. Etchevers, C. Cruz y J. Argumedo. 2009. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 a 2006. Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la Categoría de Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra. Instituto Nacional de Ecología. 122 p.
- de Jong, B. H. J., F. Rojas, M. Olguín, V. de la Cruz, F. Paz, G. Jiménez y M. A. Castillo. 2010. Establecimiento de una línea base de las emisiones actuales y futuras de Gases de Efecto Invernadero provenientes de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo. Informe final de consultoría para Conservación Internacional México A. C. http://pmcarbono.org/pmc/descargas/biblioteca/IEGEI-Chiapas_AFOLU.pdf (Consulta: 12 noviembre, 2017).
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2009. Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. México, D. F. 118 p.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 1997. Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton, J. T., L. G. Meira-Filho, B. Lim, K. Tréanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D. J. Griggs and B. A. Callander (eds.). Paris, France.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, and F. Wagner (eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Hayama, Japan.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe (eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Hayama, Japan.
- Paz, F. 2009. Proyecto Piloto “Una REDD para Chiapas” (bases metodológicas y estrategias de implementación). Documento de discusión. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. 39 p. http://pmcarbono.org/pmc/descargas/biblioteca/count.php?file=REDD_Chiapas_Metodologias-B0.5 (Consulta: 15 diciembre, 2017).