

USO DE LA TIERRA Y CAMBIO CLIMÁTICO: ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL PERÍODO 1989-2008

Ricardo Manso¹, Ernesto Carrillo¹

¹Instituto de Meteorología

E-mail: ricardo.manso@insmet.cu

El carbono circula por la atmósfera, el medio terrestre, los mares y otros ambientes acuáticos, rocas y sedimentos y ambientes acuáticos. El mayor reservorio de carbono lo constituyen las rocas y sedimentos de la corteza terrestre.

Tomando como referencia los organismos vivos, una gran cantidad de carbono orgánico se encuentra en las plantas terrestres. Esto representa el carbono de los bosques y praderas y constituye el principal lugar de fijación fotosintética de dióxido de carbono. El medio más rápido de transferencia global del carbono es mediante el dióxido de carbono de la atmósfera.

La concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero ha aumentado a partir de la revolución industrial y particularmente en los últimos 50 años debido a las diversas actividades humanas, sobre todo la utilización de combustibles fósiles y los cambios en el uso de los diferentes tipos de suelos. Lo anterior, ha contribuido a cambios en el clima del planeta (IPCC,2001). La temperatura de la superficie terrestre y marina ha incrementado, los patrones espaciales y temporales de las precipitaciones han cambiado; se ha elevado el nivel del mar y ha aumentado la frecuencia e intensidad de los fenómenos asociados con El Niño (IPCC, 2001).

El cambio climático representa un peligro para los ecosistemas y para la propia sobrevivencia del hombre en el planeta. De allí, la importancia de conocer el papel de algunos ecosistemas como reguladores del ciclo del C en la tierra. El artículo 4, apartado 1, y el artículo 12, apartado 1, de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) establecen que, como actividad de las Comunicaciones Nacionales, cada Parte se compromete a informar a la Conferencia de las Partes (CP) sobre sus emisiones por fuente y sus absorciones por sumideros de todos los gases de efecto invernadero (GEI) que no estén controlados por el Protocolo de Montreal (inventarios de GEI).

El inventario de GEI en los sectores de biogeociencias, tales como la agricultura y el sector CUSyB presentan alta incertidumbre debida a:

Metodologías inadecuadas, alta variación en los factores de emisión/remoción (v.g., la tasa de crecimiento de *Eucalyptus* spp. puede variar dependiendo del sitio o localidad)

Carencia de datos de actividad (por ejemplo, la información de un área con diferentes tipos forestales no es disponible en la mayoría de los países) y esto varía de año a año y de deforestación a aforestación. Las emisiones de la deforestación causan alrededor del 16 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) globales, y el sector agrícola un 14 por ciento adicional.

Carencia de factores propios (por ejemplo, la tasa de crecimiento de la biomasa sobre el suelo de distintos tipos forestales no es disponible en la mayoría de los países y varía por efectos de perturbación, prácticas de manejo, edad, entre otros)

Alta incertidumbre en la caracterización de sistemas biológicos, debida a la variación de los parámetros relacionados al clima, suelo, vegetación, tipo y prácticas de manejo.

Las buenas prácticas del 2003 terminan el ciclo de generación de buenas prácticas de las guías metodológicas 1996, con el Sector LUCF. A diferencia de los anteriores sectores, la aplicación de las buenas prácticas al Sector LUCF (cambio de uso de los suelos y silvicultura) termina transformándolo en LULUCF (uso de los suelos, cambio de uso de los suelos y silvicultura). Las principales características de las buenas prácticas para el Sector LULUCF, son las siguientes:

reconocimiento de 6 diferentes usos de los suelos (forestal, cultivos, praderas, urbano, humedales, y otros,

matriz de cambios de uso de los suelos, lo que obliga a combinar todos los usos de suelos

Las Directrices del IPCC revisadas en 1996 aportan un enfoque y una metodología, así como datos por defecto para el inventario de GEI en el sector CUTS. Este enfoque por defecto consiste en estimar el inventario de GEI mediante cuatro categorías:

Cambios en bosques y otras reservas de biomasa leñosa – los efectos más importantes de las interacciones de los seres humanos con el bosque se consideran dentro de una amplia categoría única que incluye la gestión comercial, la extracción de rollizos industriales (troncos) y leña, la producción y el uso de objetos de madera, así como el establecimiento y la explotación de cultivos forestales, así como la plantación de árboles en terrenos urbanos, pueblos y otros terrenos no forestales.

Conversión de bosques y pastizales – la conversión de bosques y prados a pastos, cultivos y otras formas de explotación puede cambiar significativamente las reservas de carbono en la vegetación y en el suelo.

Abandono de tierras agrícolas, pastos, plantaciones forestales y otros terrenos explotados – que regeneran su condición previa de bosques o prados.

Emisiones y absorciones de CO₂ de los suelos – esta categoría abarca las emisiones o absorciones de CO₂ derivadas de: i) cultivo en suelos minerales, ii) cultivo en suelos orgánicos, y iii) aplicación de cal en suelos agrícolas.entre ellos, y contabilización de 3 bancos de C (biomasa aérea, necromasa sobre el suelo, C en el suelo

Las Guías Metodológicas del 2006 modifican, substancialmente, las guías del 1996, en lo siguiente:

fusión de los sectores “Procesos Industriales” y “Uso de Solventes y Otros Productos”, para crear el Sector “IPPU” (Procesos Industriales y Uso de Productos), y fusión de los sectores “Agricultura” y “Uso de los Suelos, Cambio de Uso de los Suelos y Silvicultura”, para crear el Sector AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Uso de los Suelos). En este sector AFOLU, se consolidan explícitamente los vasos comunicantes entre las categorías de uso de los suelos (básicamente, entre suelos forestales, cultivados y de praderas) y se ordena mejor la contabilización de emisiones desde los suelos, que antes se localizaban en sectores distintos de la actividad generadora

Pasos Metodológicos IPCC 2006

Identificar las fuentes de emisiones y remociones en cada categoría

- Definir el nivel de precisión de los datos (de acuerdo a su disponibilidad)
- Definir las metodologías para cada fuente

- Calcular las emisiones y remociones y sus niveles de incertidumbre
- Ordenar las fuentes por importancia relativa

Cuando se dispone de datos independientes, es una buena práctica verificar las estimaciones basadas en interpolación o extrapolación utilizando los métodos establecidos. Todos los procedimientos pueden hacer aportaciones a los cálculos de incertidumbre .

Las bases de datos sobre uso de la tierra necesarias para los inventarios de gases de efecto invernadero pueden elaborarse generalmente de tres maneras:

- utilizando las bases de datos existentes preparadas para otros fines;
- recurriendo al muestreo, y
- utilizando inventarios de tierra completos.

Los procedimientos de buena práctica para representar las áreas deben tener las siguientes características generales:

- en primer lugar, los procedimientos deben ser adecuados, es decir, que representen las variaciones en el carbono almacenado , en las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero, así como, las relaciones entre ellas y el uso de la tierra y los cambios en el uso de la tierra;
- en segundo lugar, deben ser coherentes, es decir, que representen la gestión y el cambio de uso de la tierra de manera coherente en el tiempo, sin resultar indebidamente afectados por discontinuidades artificiales en datos de series temporales o por efectos debidos a la interferencia de datos de muestreo con planes rotacionales o cíclicos de uso de la tierra (p. ej., el ciclo de cosecha-rebrote en silvicultura, o ciclos gestionados de intensidad de trabajo del suelo en tierras agrícolas);
- en tercer término, los procedimientos deben ser completos, lo que quiere decir que han de incluirse todas las áreas de tierra de un país, con aumentos en algunas, compensados por disminuciones en otras. Cuando esto ocurra realmente, se deben reconocer subconjuntos de tierra utilizada para la estimación y la presentación de informes con arreglo a las definiciones convenidas en los Acuerdos de Marrakech para las Partes en el Protocolo de Kyoto;
- por último, los procedimientos deben ser transparentes, es decir, han de describirse claramente las fuentes de datos, las definiciones, las metodologías y los supuestos.

Es una buena práctica: armonizar definiciones entre las bases de datos independientes existentes y también con las categorías generales de uso de la tierra (Categorías de uso de la tierra) con el fin de minimizar lagunas y superposiciones. Por ejemplo, si en los conjuntos de datos sobre silvicultura y agricultura se incluyera la superficie forestal en las explotaciones agrícolas podría haber superposiciones. Con el fin de armonizar los datos, la superficie forestal sólo debe contarse una vez con fines de inventarios de gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta las definiciones de bosque adoptadas nacionalmente. La armonización de las definiciones no significa que los organismos deban abandonar las definiciones que les son útiles. Es coherente con la buena práctica establecer la relación entre definiciones utilizadas con objeto de eliminar el doble cómputo y las omisiones.

También incluye orientación sobre la elección de métodos de estimación apropiados a las circunstancias nacionales Las Guías de orientación sobre las buenas prácticas del PICC fueron diseñadas para ayudar a las Partes en la mejora de sus inventarios, mediante transparencia, exactitud, consistencia, comparabilidad y exhaustividad (TECCE), en parte

mediante la aplicación de los elementos transversales (por ejemplo, la identificación de las categorías clave, QA / QC, el análisis de la incertidumbre etc.).

1. Transparencia: Significa que las hipótesis y metodologías utilizadas en un inventario deben explicarse con claridad para facilitar la reproducción y evaluación del inventario por parte de los usuarios de la información suministrada. La transparencia de los inventarios es fundamental para el éxito del proceso de comunicación y de examen de la información.

2. Exactitudes una medida relativa a la precisión de la estimación de una emisión o absorción. Las estimaciones deben ser exactas en el sentido de que están sistemáticamente ni por encima ni por debajo de las emisiones reales o absorciones, en la medida en que pueda juzgarse, y que las incertidumbres se reduzcan lo más posible. Metodologías apropiadas conforme a la orientación sobre buenas prácticas deberían utilizarse para promover la precisión de los inventarios. Consistencia: Un inventario es coherente si se utilizan las mismas metodologías para el año base y todos los años y si se utilizan conjuntos de datos para estimar las emisiones y absorciones de fuentes o sumideros.

Bajo ciertas circunstancias, un inventario utilizando metodologías diferentes en años diferentes se puede considerar coherente si se ha calculado de forma transparente, es decir, teniendo en cuenta todas las buenas prácticas. (métodos de ajuste de curvas).

4. Comparabilidad: Las estimaciones de las emisiones y absorciones deben ser comparables entre las Partes. Con este fin, las Partes deberán utilizar las metodologías y formatos acordados por la Conferencia de las Partes (COP) para la estimación de los inventarios y comunicarlos. La asignación de las diferentes categorías de fuentes y sumideros deberá seguir la división de las Directrices del IPCC revisadas en 1996, a nivel de sus cuadros resumidos y sectoriales.

5. Exhaustividad: El inventario abarca todas las fuentes y sumideros, así como todos los gases incluidos en las Directrices del IPCC revisadas en 1996, además de otros pertinentes de fuentes y sumideros que son específicas de cada una de las Partes (y por lo tanto no pueden incluirse en la versión revisada del IPCC de 1996 Directrices). Exhaustividad significa también una cobertura geográfica total de las fuentes y los sumideros de una Parte.

Selección de datos de actividad

Fuentes de información oficiales.

- Estadísticas internacionales.
- Derivadas de otras estadísticas oficiales.
- Evitar la doble contabilidad

IPCC 2006 identifica:

6 Categorías de Uso de Suelo

- Tierras Forestales
- Tierras Agrícolas
- Praderas
- Humedales
- Asentamientos
- Otras

Tierras

Para estimar el carbono almacenado y las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero asociadas con las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (LULUCF) se necesita información sobre el área de tierra.

En la práctica, los países utilizan métodos que comprenden censos anuales, estudios periódicos y actividades de teledetección para obtener datos de superficie. Existe un nivel de incertidumbre de los resultados que está dado por dos factores:

- Información: captación del dato de forma generalizada e inexistencia de indicadores solicitados por la Guías Revisadas de 1996 del IPCC
- Técnico: factores de emisión y otros coeficientes no obtenidos en el territorio para la estimación del contenido total de carbono, en vegetación leñosa se requiere:

- Superficie de cada tipo de vegetación leñosa/kha
- Tasa de crecimiento anual (tms/ha), por tipos de especies que puede estar influenciada por la atención cultural y la edad de la plantación
- Fracción de carbono de la materia seca A partir de estos datos de base se calcula:
- Incremento anual de la biomasa por tipos tms
- Incremento total de la absorción de carbono por tipos ktC

Indicadores

- kha (kilo hectáreas)
- kt tms (kilo toneladas de masas seca)
- ktC (kilo toneladas de carbono)
- tms/ha (toneladas de masa seca por ha)

Para estimar el carbono almacenado y las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero asociadas con las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (LULUCF) se necesita información sobre el área de tierra.

En la práctica, los países utilizan métodos que comprenden censos anuales, estudios periódicos y actividades de teledetección para obtener datos de superficie

Categorías y subcategorías de tierras, depósitos de carbono y gases distintos al CO₂

Incendios Forestales

Los incendios forestales, se han convertido en foco de atención de la comunidad científica por su impacto a la sociedad y al clima. La extensión e intensidad de un incendio forestal dependen directamente de variables como: condiciones meteorológicas, tipos de vegetación involucradas, grado de humedad, y carga de combustible consumido por unidad de área. La quema de biomasa, tanto por quema controlada o accidental, se han convertido en foco de atención de la comunidad científica. Las emisiones de los fuegos de vegetación son reconocidas como una importante perturbación de los ciclos biogeoquímicos, en especial el ciclo del carbono, así también emiten y reemiten compuestos dañinos a la salud como el mercurio y dioxinas y furanos. Durante las últimas décadas se ha hecho mucho énfasis en supervisar y reducir las emisiones de combustibles fósiles. Menos énfasis se ha puesto sin embargo en supervisar las emisiones producidas por la quema de biomasa, a pesar de que estos fuegos de vegetación tienen un impacto en el medio ambiente. Las emisiones de gases a la atmósfera están en dependencia de la cantidad de biomasa quemada durante los incendios y esta a su vez varía en dependencia de la región climática, se efectuó el cálculo y análisis de las emisiones, según las regiones climáticas definidas por Manso et. al (1999), atendiendo a la cantidad de precipitaciones anuales medias que en ella se producen.

Las pérdidas de biomasa aérea (Pba) en los bosques manejados pueden representarse mediante la siguiente expresión:

$$Pba = Pba cosecha + Pba leña + Pba disturbios \quad (5.3)$$

Donde:

Pba cosecha pérdidas de biomasa seca por la cosecha comercial de madera (t ms/año);
Pba leña pérdidas de biomasa seca por la extracción de leña (comercial y no comercial) (t ms/año);

Pba disturbios pérdidas de biomasa seca por diferentes disturbios (incendios, huracanes, vientos fuertes, etc.) (t ms/año);

La metodología general de cálculo empleada para estimar las emisiones en cada proceso que se evalúa comprende, por lo general, el producto de datos de actividad, por ejemplo, cantidad de material producido o consumido, y un factor de emisión asociado por unidad de consumo o producción de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{TOTAL} = \text{Aij} \times \text{EFij}$$

TOTAL = La emisión del proceso (toneladas del gas i en el sector j)

Aij = Dato de actividad del proceso en el sector j.

EFij = Factor de emisión asociado con el gas i por unidad de actividad.

Donde:

E: Es la emisión anual directa de CO₂ (en Gg) procedente de los incendios forestales en el país durante el año del inventario.

A_i : Es el área quemada (hectáreas) en cada incendio forestal (i = 1.....n).

B_i : Es la biomasa combustible disponible antes de la combustión (en kg ms/ha) en el área quemada de cada incendio forestal (i = 1.....n).

F_i : La fracción de biomasa quemada (la eficiencia de la combustión) en cada incendio forestal (i = 1.....n) (adimensional).

Con el empleo de la metodología del IPCC, se estimaron, metano (CH₄); monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O), y óxidos de nitrógeno (NO_x (NO₂+ NO)). A partir de estos calculamos el CO₂ equivalente

A partir del mapa de Precipitación Media Anual de escala 1:1 000 000 presentado por A. Izquierdo en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1989), se obtuvo el mapa de regionalización climática (Figura.1) a partir de los siguientes criterios de clasificación (Manso, 1999) el cual se aplicó en la clasificación del clima del lugar donde ocurren los incendios, lo cual es muy importante tanto para estimar la biomasa, en caso de no disponer de datos del lugar, como para la fracción realmente quemada, o sea, la eficiencia de la combustión, según establecen las recomendaciones de las Guías de Buenas Prácticas del IPCC (2003), para bosques primarios, secundarios y secos en los trópicos cuando la estación seca es superior a 6 meses.

Regiones Climáticas.

- Tropical Seca (TS): Temperatura media del aire superior a los 20°C y la precipitación anual inferior a los 1 000 mm.
- Tropical Húmeda con Estación Seca (TH): Temperatura media superior a los 20°C y la precipitación entre 1 000 mm y 2 000 mm.
- Tropical Muy Húmeda o Lluviosa (TLL): Temperatura media superior a los 20°C y la precipitación superior a los 2 000 mm.

Se logró compatibilizar la clasificación de las formaciones forestales en Cuba (Mercadet y col, 2004), con los criterios de clasificación de las áreas cubiertas de bosques y la regionalización climática descrita anteriormente, gracias a la dependencia de las precipitaciones del bosque.

- Tropical Seco: Temperatura media del aire superior a los 20°C y precipitación anual inferior a los 1 000 mm (Xerófilo Típico)

- Tropical Húmedo con Estación Seca Larga: Temperatura media superior a los 20°C y precipitación anual entre 1 000 mm y 2 000 mm, con una estación seca superior a los 5 meses (Cuabal, Encinar, Manigua costera, Semicaducifolio sobre suelo calizo, Semicaducifolio sobre suelo ácido, Semicaducifolio de mal drenaje, Uveral, Xerófilo de Mogote, Pinar)
 - Tropical Muy Húmedo: Temperatura media superior a los 20°C y precipitación anual superior a los 2 000 mm (Pluvisilva, Pluvisilva de Montaña, Monte Fresco y Monte Nublado)
 - La formación Manglar se consideró en la categoría de “Otros bosques”.
- Los factores de emisión también varían según la eficacia de la combustión, pues los relacionados con los productos de combustión incompleta (CO, CH₄, partículas, etc.)

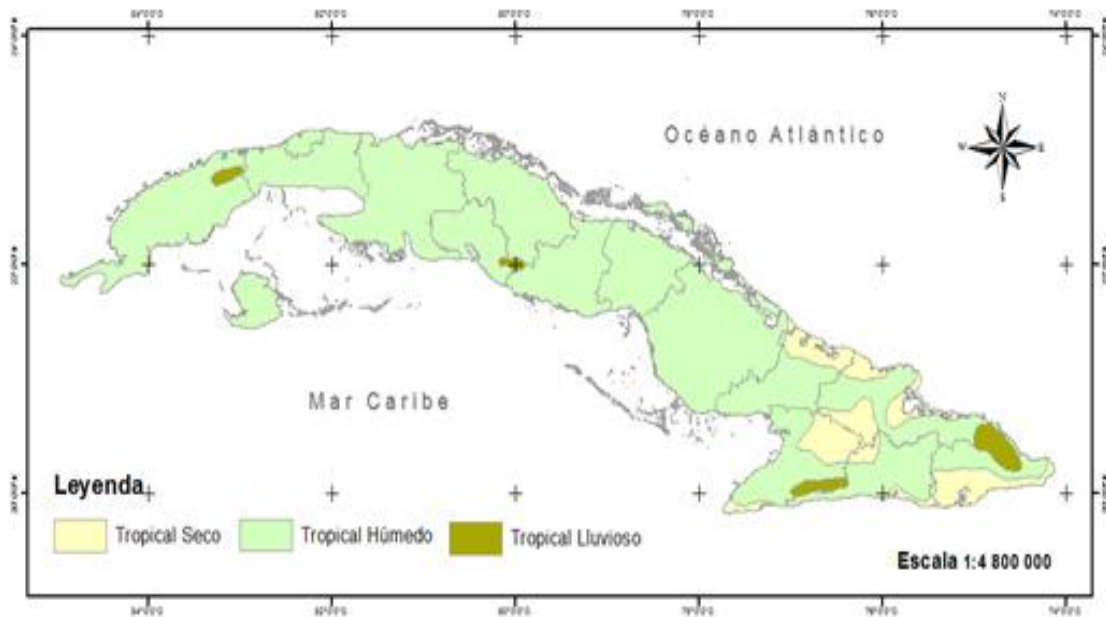
En todas las regiones climáticas del país ocurrieron incendios. Siendo la de mayor cantidad de reportes de incendios la zona TH, con un total de 2 440. Para las zonas TLL y TS, la cantidad de incendios es menor que en la TH, lo cual es correspondiente con las pequeñas áreas que estas dos zonas ocupan con respecto a la primera, siendo los valores de 299 y 113, respectivamente, como se aprecia en la tabla Cantidad de incendios registrados por regiones climáticas en Cuba, durante el período 1998-2006.

Tabla Cantidad de incendios registrados por regiones climáticas en Cuba, durante el período 1998-2006

| Años | TH | TLL | TS |
|--------------|-------------|------------|------------|
| 1998 | 223 | 23 | 12 |
| 1999 | 358 | 11 | 12 |
| 2000 | 284 | 22 | 15 |
| 2001 | 251 | 12 | 22 |
| 2002 | 244 | 40 | 18 |
| 2003 | 108 | 32 | 3 |
| 2004 | 395 | 36 | 14 |
| 2005 | 288 | 84 | 12 |
| 2006 | 289 | 39 | 6 |
| TOTAL | 2440 | 299 | 113 |
| Media | 271 | 33 | 13 |
| Máx | 395 | 84 | 22 |
| Mín | 108 | 11 | 2 |
| Desv. | 82 | 22 | 6 |

La metodología permite estimar las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O, CO y NO_x procedentes de la quema de biomasa en tierras forestales, ya sea de “Bosque que permanece como bosque” o de “Bosque en transición” ocasionadas por los incendios forestales.

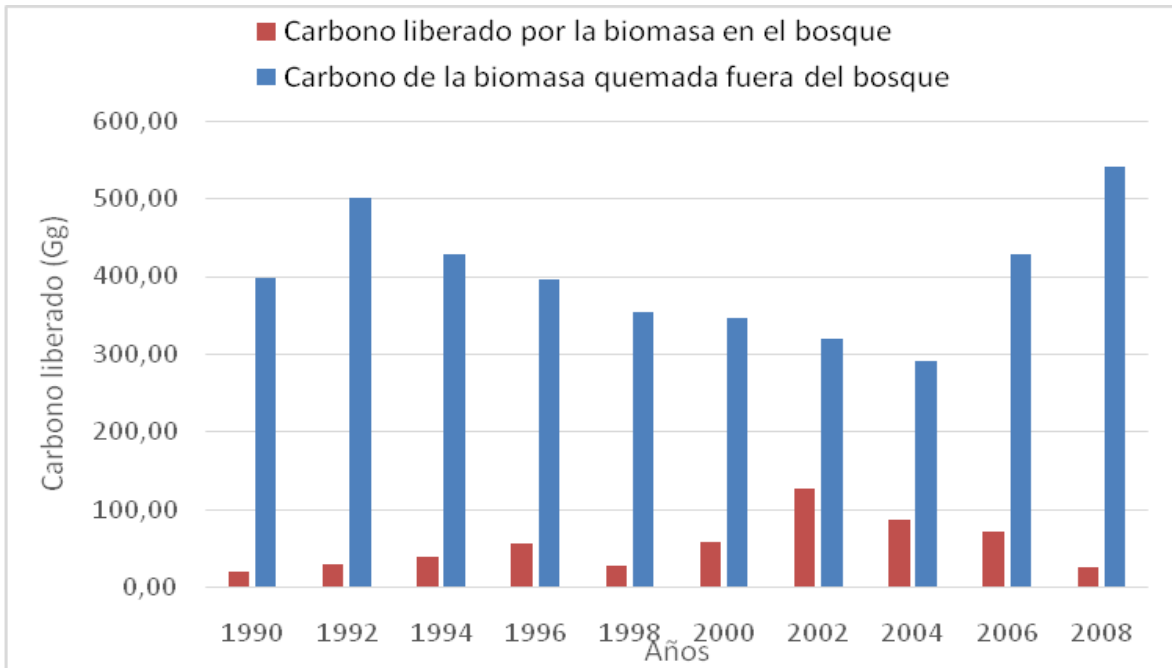
La exactitud de las estimaciones depende de los datos disponibles



La cuantificación de las emisiones obliga a hacer hipótesis muy generales sobre la cantidad de biomasa disponible y sobre la eficiencia de la combustión (Vélez 2000).

Para los fuegos de todo tipo, esta estimación requiere como mínimo evaluar:

- (i) cuánto material, i.e. biomasa, hay presente antes del fuego (medido, por ej., en toneladas por hectárea), y
- (ii) qué proporción de ese material se quema efectivamente, i.e. lo que en la literatura especializada se denomina factor de combustión - FC (Seiler y Crutzen 1980).



Como fracción de contenido de carbono en la biomasa aérea quemada en el sitio (F_{cb}) se utilizaron valores obtenidos en el país entre los que se seleccionaron 0,4658 para los bosques en condiciones húmedas con estación seca larga y 0,462 para los bosques secos (Mercadet, Álvarez y Escarré, 2005) aunque para el cálculo se utilizó un valor ponderado para ambos tipos de bosques de 0,4655 dado que el dato de actividad utilizado es el área total nacional quemada. Para el caso de la leña quemada fuera del bosque se utilizó el valor 0,4688 para la fracción de carbono.

Dos factores importantes a la hora de determinar si la bioenergía reduce la presencia de carbono en la atmósfera en comparación con los combustibles fósiles son (i) dónde y (ii) cómo se produce y extrae la biomasa.

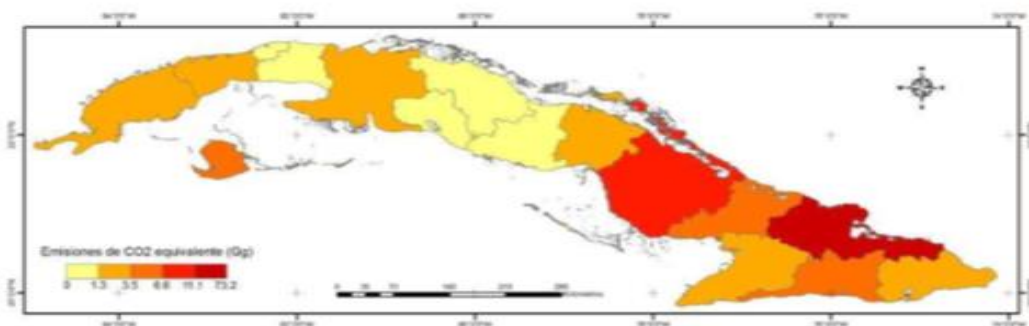


Figura 5.9. Emisiones de CO2 equivalente por provincia. Cuba, 2010.

Por ejemplo. En EE.UU., a partir del 2 de enero del 2011, la EPA consideró a los gases de efecto de invernadero como contaminantes sujetos a regulación bajo El acta de aire limpio (CAA) y ya en marzo del propio año tenían una Guía para determinar la mejor tecnología disponible para el control de la reducción de las emisiones de dióxido de carbono en la producción de bioenergía "Es un error asumir que la Bioenergía es carbono neutral' por definición, depende con lo que usted lo reemplace ".

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), insiste que el uso biomasa como Bioenergía pudiera ser considerada carbono neutral, solamente si, han sido considerados, todos los impactos del uso de tierra

La extracción de árboles de un bosque debe ser de manera que el equilibrio del carbono sea estable y no dañe la capacidad global del bosque de capturar CO₂.

EMISIONES O REMOCIONES DE CO₂ EN LOS SUELOS DEBIDO AL MANEJO Y EL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA

Para esta categoría, en las IPCC 1996 GL se incluyen estimaciones de las emisiones netas de CO₂ de tres procesos principales:

I. Los cambios en el carbono almacenado en los suelos y la cubierta muerta de los suelos minerales debido a cambios en las prácticas del uso de las tierras;

II. Las emisiones de CO₂ procedentes de suelos orgánicos convertidos a la agricultura o plantaciones forestales;

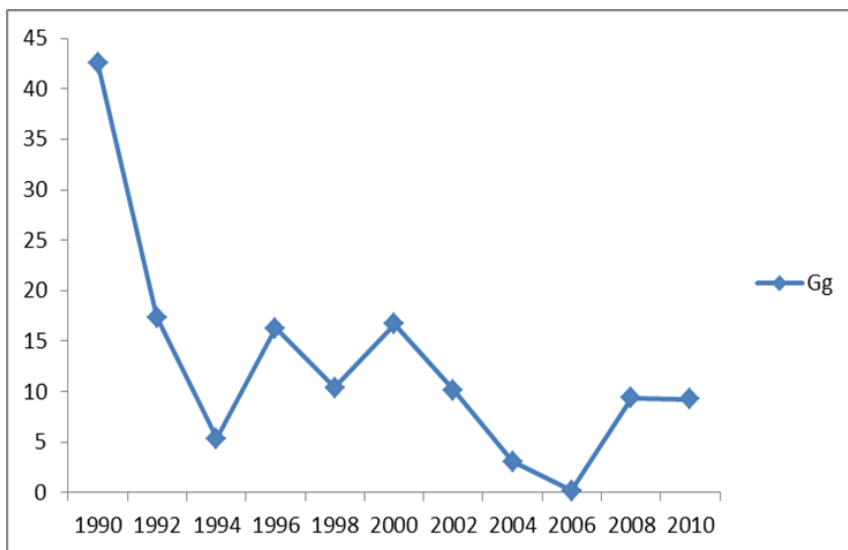
III. Las emisiones de CO₂ procedentes del encalado de los suelos agrícolas

Las emisiones de CO₂ procedentes del encalado de los suelos agrícolas

Se utiliza el método simple proporcionado en las IPCC 1996 GL, basado en la cantidad total de cal aplicada (en este caso carbonato de calcio) la que es multiplicada por factores de conversión de carbono y un factor de conversión de las unidades para convertir Mg de C a Gg de C y de éstas a emisiones de CO₂.

La agricultura, además de aplicar cal como mejorador de suelo, adquiere carbonato CaCO₃ para complemento de piensos de aves y ganado vacuno, y para camada en naves de avicultura

En este año 2010 pudimos contar por primera vez con la colaboración del Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura



Tierras agrícolas

- Proporciona métodos para estimar los cambios en las reservas de carbono en tierras agrícolas y las emisiones de N₂O de las conversiones de usos de la tierra a tierras agrícolas.
- Estima el cambio anual en las reservas de carbono en la biomasa viva basándose en: superficie anual de tierras agrícolas con biomasa leñosa perenne y tasa de crecimiento anual de la biomasa leñosa perenne, deduciendo la explotación de carbono en forma de biomasa;
- Estima el cambio anual en las reservas de carbono en suelos minerales basándose en: estimaciones de la reserva de COS en el año t (el periodo por defecto es de 20 años) y el COS durante el año de inventario;
- Estima el cambio anual en las reservas de carbono en suelos orgánicos basándose en: la estimación de la superficie de tierra con suelos orgánicos y el factor de emisión para los suelos orgánicos sometidos a cultivo;
- Estima el cambio anual en reservas de carbono en biomasa viva, suelos minerales y suelos orgánicos para las distintas categorías de uso de suelo convertidas a tierras agrícolas;
- Estima la emisión anual de N₂O de suelos minerales a los que se añade N (en forma de fertilizantes, abonos orgánicos y esquilmos agrícolas) y N liberado por la mineralización de la materia orgánica del suelo.

Pradera:

- Las reservas de carbono en las praderas se encuentran afectadas por las actividades humanas y por las alteraciones naturales, incluyendo la explotación de biomasa leñosa, la degradación de la vegetación, el pastoreo, el fuego, la rehabilitación, la gestión de las praderas, etc.; la BS, incluyendo la biomasa de las raíces y la materia orgánica del suelo, predomina en las praderas;
- Proporciona metodologías para estimar los cambios de las reservas de carbono en la biomasa viva y los suelos de las praderas y tierras convertidas a praderas;
- Estima el cambio anual en las reservas de carbono de la biomasa viva y el carbono del suelo (suelos minerales y suelos orgánicos cultivados) en

praderas que permanecen como tales y en tierras convertidas en praderas;

- Proporciona metodologías para estimar las emisiones de gases distintos del CO₂ de incendios de la vegetación basándose en: superficie de pradera
HUMEDALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HUMEDALES *Humedales:*

- Incluye tierras cubiertas o saturadas de agua durante todo o parte del año y que no pertenecen a tierras forestales u otras categorías de uso de la tierra;

- Distingue entre humedales explotados y no explotados;

- Proporciona metodologías para estimar los GEI, así como CO₂, CH₄ y N₂O;

- El apéndice incluye una metodología para estimar los GEI en humedales que permanecen como tales y el texto principal, en tierras convertidas a humedales;

- Estima los cambios en las reservas de carbono en tierras convertidas en humedales debido a la extracción de turba y en tierras convertidas a terrenos inundados;

- Estima las emisiones de N₂O del drenaje de turberas y terrenos inundados y las emisiones de CH₄ de terrenos inundados;

- Estima el cambio anual en las reservas de carbono en la biomasa viva en tierras convertidas en humedales. El metano puede emitirse desde las tierras inundadas a través de la liberación de burbujas, por difusión y por desgasificación. Se forma por las bacterias que descomponen la materia orgánica en sedimentos y agua con bajos contenidos de oxígeno; para el caso de zonas tropicales, las zonas profundas de los cuerpos de agua, tienen contenidos muy bajos de oxígeno. Pero, parte del metano generado en zonas profundas, se oxida en dióxido de carbono al subir hacia la superficie de los embalses. Aunque el IPCC, todavía no ha incorporado formalmente en su metodología de Inventarios Nacionales de Gases de Invernadero la evaluación de emisiones de las represas y embalses, en los apéndices 2 y 3 de la Directrices del IPCC del 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Invernadero proponen las bases metodológicas para su desarrollo futuro, sobre la evaluación de las emisiones CO₂ y CH₄ de tierras convertidas a permanentemente inundadas

El método de nivel 1, el cual es el utilizado, cubre sólo las emisiones difusoras. El Nivel 2 incluye un término para estimar las emisiones de CH₄ por burbujas y, donde sea aplicable, una consideración separada para los periodos libres de hielo y cubiertos de hielo. Los métodos de Nivel 3 se refieren a todo enfoque basado en mediciones detalladas que incluya una estimación de todos los flujos de CH₄ pertinentes que provienen de las tierras inundadas, lo cual incluye también las emisiones de desgasificación y considera la profundidad, la ubicación geográfica y la temperatura del agua del reservorio durante la totalidad de su vida útil.

Ecuación 4: Emisiones de CH₄ WWinundación = P • E(CH₄)dif • A inundación_superficie_total • 10⁻⁶ La provincia de Camagüey, como todo el país, posee un alto número de metros cúbicos de agua embalsada, debido al programa de represado llevado a cabo desde inicios de la Revolución.

Las emisiones de metano por este concepto son de 7,31 Gigagramos, siendo los embalses con mayores emisiones, Porvenir (0,96 Gg), Jimaguayú (0,81 Gg), Muñoz (0,69 Gg), Najasa y Amistad Cubano-Búlgara, ambos con 0,52 Gigagramos. Estos son los de mayor área cubierta de agua, y a la vez los de mayor emisión de metano, los 5 con más de medio Gigagramo de emisión de metano al año.

A nivel nacional, la estimación de las emisiones procedentes de los humedales no se ha podido evaluar dado que no se tienen los datos suficientes.

Asentamientos:

- Aquí se incluyen todas las clases de terrenos arbolados y árboles en poblaciones;
- Proporciona una metodología para estimar las emisiones de CO₂ y las absorciones de tierras convertidas en asentamientos y, en el apéndice, para asentamientos que permanecen como tales;
- Proporciona métodos para estimar los cambios anuales en las reservas de carbono en biomasa viva contenida en «tierras forestales convertidas en asentamientos» basándose en el área convertida en reserva de carbono contenida en la biomasa viva inmediatamente antes y después de la transformación en asentamientos.

Otras tierras:

- Incluye áreas de suelo sin cobertura vegetal, rocas, hielo y toda superficie de terreno no explotada que no pertenezca a otra categoría de uso de la tierra
- Explica que no es necesario evaluar los cambios en las reservas de carbono y las emisiones/absorciones de gases distintos del CO₂ para la categoría de «otras tierras que permanecen como tales»;
- Proporciona metodologías para estimar el cambio anual en las reservas de carbono de las «tierras convertidas a otras tierras» basándose en estimaciones del cambio en las reservas de carbono de la biomasa viva y del COS.

Los humedales son las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, constituyen áreas de inundación temporal o permanente, que están sujetas o no a la influencia de la marea. La duración de la inundación debe ser mayor al 5% de la temporada de crecimiento para permitir el desarrollo de suelos hídricos y al menos periódicamente mantener una vegetación predominante de hidrófitas, esto es plantas adaptadas a vivir en condiciones de inundación (Environmental Laboratory, 1987; Mitsch y Gosselink, 2000). El término humedales agrupa a una gama de habitats continentales, costeros y marinos que comparten ciertas características climáticas y geológicas, así como una hidrología y una de vida silvestre y la producción de alimentos es más grande que su superficie proporcional en la tierra edafología singular (Moreno y Travieso, 2007). El área de humedales en el planeta se ha estimado entre 700-1024 millones de hectáreas, lo cual representa entre el 4-6% de la superficie de la tierra (Mitsch y Gosselink, 2000).

Los suelos inundados poseen condiciones anaerobias que favorecen la producción de metano (CH₄), el cual es considerado un gas de efecto invernadero, con un potencial de calentamiento global 21 veces mayor al del CO₂. Las emisiones de CH₄ de los humedales situados en diferentes zonas geográficas están dentro del rango de 0.001-1.810 Mg C ha⁻¹ año⁻¹.

Con el fin de no sobreestimar el papel de estos ecosistemas como sumideros de C, es necesario hacer un balance entre el C acumulado en la biomasa y el suelo de los humedales, y la emisión de CH₄ a la atmósfera.

Aun cuando los humedales ocupan sólo entre 4-6% de la superficie terrestre, ellos desempeñan un papel importante en el ciclo de carbono (C) del planeta. La captación de carbono en humedales se realiza, en su mayoría, a través de las plantas que fijan el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y lo convierten a carbono orgánico.

EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE TIERRAS INUNDADAS QUE PERMANECEN COMO TALES

Las emisiones post-inundación de CH₄ pueden ocurrir a través de las vías siguientes:

- Emisiones difusoras provocadas por la difusión molecular a través de la interfaz aire-agua;
- Emisiones de burbujas, o emisiones de gas provenientes del sedimento a través de la columna de agua mediante burbujas; ésta es una vía muy importante de emisiones de CH₄, en particular en las regiones templadas y tropicales.
- Emisiones de desgasificación o emisiones que son el resultado de un cambio repentino de la presión hidrostática, así como de la superficie creciente de intercambio aire/agua después de que el agua de los reservorios fluye a través de una turbina y/o una vía de desagüe. Para estimar las emisiones difusoras y de burbujas se requieren los datos específicos del país sobre el área de las tierras inundadas. Como alternativa, los países pueden obtener una estimación del área de sus tierras inundadas a partir de un análisis de cobertura del drenaje de las cuencas, de una base de datos sobre represas y embalses, de la Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD, International Commission on Large Dams, 1998) o del informe de la Comisión Mundial sobre Represas (WCD, World Commission on Dams, 2000). Dado que el área de las tierras inundadas puede cambiar rápidamente, los países deben usar datos actualizados y recientes.

Superficie utilizadas 20 años antes del año del inventario

Indicar contenido de carbono por hectáreas diferenciados en ecosistemas naturales y afectados por la agricultura

Diferenciar suelos orgánicos y minerales por zonas climáticas

LITERATURA CITADA

Andreae M.O., Merlet P.,(2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 15, 4, 955-966, 2001

Carrillo, E., R. Manso, D. Boudet.,E. Mejias y R. Báez (2011). Comportamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero producto de incendios forestales en regiones climáticas de Cuba. VI Congreso Cubano de Meteorología La Habana ,29 de noviembre al 3 de diciembre.2011

Crutzen, P.J. y M.O. Andreae (1990): Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* 250: 1669-1678

Dixon, R. K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler and J. Wisniewski (1994): Carbon Pools and Global Forest Ecosystems. *Science*, volume 263

Houghton R.A.(1997) Effects of Land-Use Change on the Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems Page, S. E., F. Siegert, J. O. Rieley, H.-D. V. Boehm, A. Jaya, and S.Limin, The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997, *Nature*, 420, 61-65, 2002.

- Guenther, A, and W. M. Hao (2007) The Tropical Forest and Fire Emissions Experiment: overview and airborne fire emission factor measurements Atmos. Chem. Phys., 7, 5175–5196, 2007 www.atmos-chem-phys.net/7/5175/2007/
- IPCC (2006) Directrices del IPCC para los inventarios Nacionales de gases de efecto Invernadero. IPCC (UNEP; WMO),2006.
- Law, Beverly (2010). Effects of forest fire on carbon, climate impacts emissions often overestimated. <http://www.scitech-news.com/2010/02/effects-of-forest-fire-on-carbon.html>. (Documento Internet)
- Levine JS (ed) (1991). Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1991.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, Antonio V. Guevara, M. E. García D. Puente, D. Ramos, Ana M. García, B. R. Díaz, J. J. Alea, D. Pérez, I. López, A. Jam, A. Maestrey, J. Pena, M. O. Martínez. (1999). República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. Año 1990. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología, - CC-TRAIN, La Habana, Ediciones GEO 401 pp. ISBN: 959-02-03-15-9.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. León, A. V. Guevara, C. González, S. Mesa, E. Martínez, N. Rodríguez, J. Dávalos, M. E. García, J. J. Alea, R. Biart, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, A. Mercadet, A. Álvarez. (2005). Determinación de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero en Cuba Durante el Año 2002. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 320 pp.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Valdes, A. León, A. V. Guevara, C. González, S. Mesa, E. Martínez, N. Rodríguez, J. Dávalos, M. E. García, J. J. Alea, R. Biart, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, A. Mercadet, A. Álvarez. (2007). Gases de Invernadero. Emisiones y Remociones. Cuba 1990-2002. ETGEI-Instituto de Meteorología. Junio 2007 La Habana, 29 pp.
- Manso, R. (1999). Estimaciones de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero vinculadas a la Silvicultura para Cuba año base 1990. Tesis en Opcional grado de Master en Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial en la Opción de Análisis Ambiental y Ordenamiento Geocológico. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana. Biblioteca Facultad de Geografía. Cuba
- Manso, R, Eva Mejias, Reynaldo Báez (2005) Estimación de Gases y Partículas para el periodo 1998-2003 en Cuba. Resultado Científico. Instituto de Meteorología. Biblioteca INSMET
- Manso R y E. Carrillo, (2011): Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero por incendios forestales en dependencia de la pirodiversidad y biodiversidad en cuba. Estudio de caso. VI Congreso Cubano de Meteorología La Habana ,29 de noviembre al 3 de diciembre.2011
- Mercadet Alicia, Álvarez A. y A. Escarré (2005). Base de datos sobre densidad de madera de especies arbóreas. Instituto de Investigaciones Forestales, Cuba y Universidad de Alicante, España. Aplicado y publicado en López et al (2005,2007,2009).
- Sandberg, D. V., R. Ottmar, J. Peterson y J. Core. (2002): Wildland fire on ecosystems: effects of fire on air, Corvallis, OR., For. Service Gen. Tech. Rep. , RMRS-GTR-42-vol. 5. 79 p.
- Yokelson, R. y col (2002) Emissions from forest fires near Mexico City 1University of Montana, Department of Chemistry, Missoula, MT 59812, US
- Aselmann, I. and V. Crutzen. 1990. A global inventory of wetland

distribution and seasonality, net primary productivity, and estimated methane emission. pp.130-125. In: A. F. Bowman (ed.). Soils and greenhouse effect. John Wiley and Sons. Chichester, West Sussex, UK.

Bergman, I., M. Klarquist, and M. Nilsson. 2000. Seasonal variation in rates of methane production from peat of various botanical origins: effects of temperature and substrate quality. *FEMS Microbiol. Ecol.* 33: 181-189.

Boon, P. I. and K. Lee. 1997. Methane oxidation in sediments of a floodplain wetland in south-eastern Australia. *Lett. Appl. Microbiol.* 25: 138-142.

Bridgman, S.D., J. P. Megonigal, J.K. Keller, N.B. Bliss, and C. Trettin. 2006. The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands* 26: 889-916.

Christensen, T. R., N. Panikov, M. Mastepanov, A. Joabsson, A. Stewart, M. Oquist, M. Sommerkorn, S. Reynaud, and B. Svensson. 2003. Biotic control on CO₂ and CH₄ exchange in wetlands: a closed environment study. *Biogeochemistry* 64: 337-354.

Collins, M. E. and R. J. Kuehl. 2000. Organic matter accumulation and organic soils. pp. 137-162. In: J. L. Richardson and M. J. Vepraskas (eds.). *Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes and classification*. Lewis Publishers. Boca Raton, FL, USA.

Cronk, J. K. and M. S. Fennessy. 2001. *Wetland plants: biology and ecology*. Lewis Publishers. Boca Raton, FL, USA.

Environmental Laboratory. 1987. Corps of engineers wetlands delineation manual. Technical report Y-87-1. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS, USA.

Graham, S. A., C. B. Craft, P. V. McCornick, and A. Aldous. 2005. Forms and accumulation of soil P in natural and recently restored peatlands-upper Klamath Lake, Oregon, USA. *Wetlands* 25: 594-606.

Hammer, D. A. 1992. *Creating freshwater wetlands*. Lewis Publishers. Chelsea, MI, USA.

Inubushi, K., S. Otake, Y. Furukawa, N. Shibasaki, M. Ali, A. M. Itang, and H. Tsuruta. 2005. Factors influencing methane emission from peat soils: comparison of tropical and temperate wetlands. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 71: 93-99.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *The third assessment report, climate change 2001*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Jones, R. D. and R. Y. Morita. 1983. Methane oxidation by *Nitrosococcus oceanus* and *Nitrosomonas europaea*. *App. Environ. Microbiol.* 45: 401-410.

Laing, C. G., T. G. Shreeve, and D. M. E. Pearce. 2008. Methane bubbles in surface peat cores: in situ measurements. *Global Change Biol.* 14: 916-924.

López-Portillo, J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques* 8: 27-51.

- López-Rosas, H., P. Moreno-Casasola, and I. A. Meldenssohn. 2005. Effects of an african grass invasion on vegetation, soil and interstitial water characteristics in a tropical freshwater marsh in La Mancha, Veracruz (México). *J. Plant Interact.* 1: 187-195.
- López-Rosas, H., P. Moreno-Casasola, and I. A. Meldenssohn. 2006. Effects of experimental disturbances on a tropical freshwater marsh invaded by african grass (*Echinochloa pyramidalis*). *Wetlands* 26: 593-604.
- Martin, J., E. Hofnerr, and M. F. Quigley. 2003. Effects of *Typha latifolia* transpiration and harvesting on nitrate concentrations in surface water of wetland microcosms. *Wetlands* 23: 835-844.
- Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink. 2000. *Wetlands*. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.
- Moreno, E., A. Guerrero, M. C. Gutiérrez, C. Ortiz y D. J. Palma. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Maderas y Bosques* 8: 115-128.
- Moreno-Casasola, P. y A. C. Travieso-Bello. 2007. Los humedales. pp. 233-260 In: P. Moreno-Casasola (ed.). *Entornos Veracruzanos: la costa de la Mancha*. Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Veracruz, México.
- Moreno-Casasola, P., J. Rojas, D. Zárate, M. Ortiz M., A. Lara y T. Saavedra. 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques* 8: 61-68.
- Neill, C., C. Cerri, J. M. Melillo, B. J. Feigl, P. A. Steudler, J. F. L. Moraes, and M. C. Piccolo. 1998. Stocks and dynamics of soils carbon following deforestation for pasture in Rondonia. pp. 235-243. In: R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follet, and B. A. Stewart (eds.). *Soil processes and the carbon cycle*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Neue, H. U., J. L. Gaunt, Z. P. Wang, P. Becker-Heidmann, C. Quijano. 1997. Carbon in tropical wetlands. *Geoderma* 79: 163-185.
- Rejmankova, E. and K. Houdkova. 2006. Wetland plant decomposition under different nutrient conditions: what is more important, litter quality or site quality? *Biogeochemistry* 80: 245-262.
- Ribeiro O., M. D., M. Álvarez C., P. Riobos y S. Cirujano. 2004. Descomposición de helófitos en un humedal semiárido hipertrófico. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 61: 53-61.
- Schlesinger, W. H. 1991. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. Academic Press. New York, NY, USA.
- Smialek, J., V. Bouchard, B. Lippman, M. Quigley, T. Granata, J. Martin, and L. Brown. 2006. Effect of a woody (*Salix nigra*) and an herbaceous (*Juncus effusus*) macrophyte species on methane dynamics and denitrification. *Wetlands* 26: 509-517.
- Strom, L., M. Mikhail, and T. R. Christensen. 2005. Species-specific

effects of vascular plants on carbon turnover and methane emissions from wetlands. *Biogeochemistry* 75: 65-82.

Tauchnitz, N., R. Brumme, S. Bernsdorf, and R. Meissner. 2007. Nitrous oxide and methane fluxes of a pristine slope mire in the German National Park Harz Mountains. *Plant Soil* 303: 131-138.

Torres-Alvarado, R., F. Ramírez V., F. J. Fernández y I. Barriga S. 2005. Methanogenesis and methane oxidation in wetlands. Implications in the global carbon cycle. *Hydrobiología* 15: 327-349.

Turetsky, M. R., S. W. Manning, and K. R. Wieder. 2004. Dating recent peat deposits. *Wetlands* 24: 324-356.

USDA, NRCS (United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service). 2006. Field indicators of hydric soils in the United States. Version 6.0. G. WHurt and L. M. Vasilas (eds.). USDA, NRCS in cooperation with the National Technical Committee for Hydric Soils. Washington, DC, USA.

Vann, C. D. and P. Megonigal. 2003. Elevated CO₂ and water depth regulation of methane emissions: comparison of woody and non-woody wetland plant species. *Biogeochemistry* 63: 117-134.

Welsh, M. and J. B. Yavitt. 2007. Microbial CO₂ production, CH₄ dynamics and nitrogen in a wetland soil (New York State, USA) associated with three plant species (*Typha*, *Lythrum*, *Phalaris*). *Eur. J. Soil Sci.* 58: 1493-1505.

Whiting, G. J. and J. P. Chanton. 2001. Greenhouse carbon balance of wetlands: methane emission versus carbon sequestration. *Tellus B* 53: 521-528.

Zhu, N., P. An, B. Krishnakumar, L. Zhao, L. Sun, M. Mizuochi, and Y. Inamori. 2007. Effect of plant harvest on methane emission from two constructed wetlands designed for the treatment of wastewater. *J. Environ. Manage.* 85: 936-943.