



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS



CUANTIFICACIÓN DE LA EMISIÓN Y CAPTURA DE GEI EN EL SECTOR
USCUSyS MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL IPCC EN EL ESTADO DE
DURANGO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

PRESENTA:

PALMIRA BUENO HURTADO



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Bermejillo, Durango, junio 2012



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS



CUANTIFICACIÓN DE LA EMISIÓN Y CAPTURA DE GEI EN EL SECTOR
USCUSyS MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL IPCC EN EL ESTADO DE
DURANGO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA:

PALMIRA BUENO HURTADO

Bermejillo, Durango, 1 de junio de 2012

**CUANTIFICACIÓN DE LA EMISIÓN Y CAPTURA DE GEI EN EL SECTOR
USCUSyS MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL IPCC EN EL ESTADO DE
DURANGO**

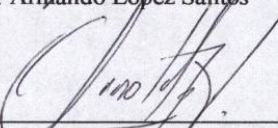
Tesis realizada por Palmira Bueno Hurtado bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado
de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

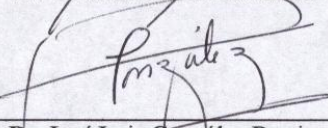
DIRECTOR:


Dr. Armando López Santos

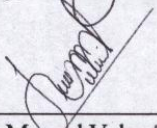
CODIRECTOR:


Dr. Arnoldo Flores Hernández

ASESOR:


Dr. José Luis González Barrios

ASESOR:


Dr. Luis Manuel Valenzuela Núñez

ASESOR:


Dr. Joaquín Pinto Espinoza

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haberme brindado el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por todas las facilidades dadas para el desarrollo de mis actividades en la institución.

Al Dr. Armando López Santos por la revisión del trabajo de tesis, su contribución en el cálculo del inventario y por el apoyo en las actividades que se realizaron durante el desarrollo del mismo.

Al Dr. José Luis González Barrios por la revisión de la presente tesis y su contribución en el inventario de GEI.

Al Dr. Luis Manuel Valenzuela Núñez por la revisión y apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo, así como su aportación en el cálculo del inventario.

Al Dr. Arnoldo Flores Hernández por la revisión del trabajo de tesis.

A la Dra. Adriana Martínez Prado y el Dr. Joaquín Pinto Espinoza por el apoyo en todas las actividades implicadas en el trabajo.

Al Ing. Ambrocio Viera Briones por su aportación y ayuda brindada en el cálculo del inventario.

Al Ing. José Juan Escobar Pedraza por el apoyo en el cálculo del inventario.

RESUMEN

El presente estudio comprende la estimación de la emisión (↑) y captura (↓) de gases de efecto invernadero (GEI) para la categoría de Uso y Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSyS), en el estado de Durango para el periodo del 2005 al 2008. Se tomó como base la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (por sus siglas en ingles IPCC), y los cálculos se realizaron mediante el uso del *Greenhouse Gas Inventory Software* versión 1.3.1. El estudio se realizó en cinco subcategorías: 1) Cambios de biomasa en bosques y en otros tipos de vegetación leñosa; 2) Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) procedentes de la conversión de bosques y praderas; 3) Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal; 4) Abandono de tierras cultivadas y 5) Emisiones o absorción de CO₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra. Los resultados indican que en Durango se emiten 11,933.08 Gg de CO₂ (13.73% del total nacional). En el estado también se emite 20.59 Gg de CH₄, 180.14 Gg de CO, 0.14 Gg de N₂O y 5.12 Gg de NO_x, lo cual equivale a 16.21%, 16.18%, 14% y 16%, del total emitido a nivel nacional, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Inventario, CO₂, gases traza.

ABSTRACT

This study is about the estimate of emission (↑) and capture (↓) of greenhouse gases (GHG) from land use, land use change and forestry (LULUCF) in the state of Durango in the period of 2005-2008. We use the methodology proposed by the IPCC and using the Greenhouse gas inventory software version 1.3.1. The inventory was into five subcategories: 1) Changes in forest and other woody biomass stocks; 2) CO₂ emissions from forest and grassland conversion; 3) On-site burning of forests: emissions of non-CO₂ trace gases; 4) Abandonment of managed lands; 5) CO₂ emissions or uptake by soil from land-use change and management. Finally, we calculated for the state of Durango a release of 11,933.08 Gg of CO₂ (13.73% of national total). In the state also emits 20.59 Gg of CH₄, 180.14 Gg of CO, 0.14 of N₂O y 5.12 Gg of NO_x, thus are equal to 16.21%, 16.18%, 14% and 16%, nationally respectively.

KEYWORDS: Inventory, CO₂, trace gases.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE CUADROS EN ANEXOS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS EN ANEXOS	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1. Bases teóricas	3
3.1.1. El clima y el efecto invernadero	3
3.1.2. Dinámica del CO ₂	4
3.1.3. Dinámica de gases distintos del CO ₂	6
3.2. Panorama mundial	7
3.2.1. Emisiones históricas y cambios en el clima.....	7
3.2.2. Acciones y acuerdos internacionales	8
3.2.3. Categorías de inventarios de GEI	9
3.3. Panorama nacional	9
3.3.1. Comunicaciones Nacionales de GEI.....	10
3.3.2. Inventarios Estatales de GEI.....	11
3.4. Importancia de los bosques	12
3.5. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura	12
3.5.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa	12
3.5.2. CO ₂ proveniente de la conversión de biomasa de Bosques y Pastizales.....	15
3.5.3. Emisiones de gases distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal	16

3.5.4. Abandono de áreas manejadas	17
3.5.5. Emisión o absorción de CO ₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra	17
3.6. Cálculo de incertidumbre	18
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	21
4.1. Descripción del área de estudio.....	21
4.2. Descripción del software	21
4.3. Cálculo del inventario	22
4.3.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa	24
4.3.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de bosques y pastizales....	28
4.3.3. Emisiones de gases traza distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal	31
4.3.4. Abandono de las áreas manejadas	32
4.3.5. Emisiones o absorción de CO ₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra.....	34
4.4. Cálculo de incertidumbre	36
4.4.1. Cambios de biomasa en bosques y en otros tipos de vegetación leñosa.....	37
4.4.2. Emisiones de CO ₂ procedentes de la conversión de bosques y praderas.....	37
4.4.3. Emisiones de gases traza distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal	37
4.4.4. Abandono de tierras cultivadas.....	38
4.4.5. Emisiones o absorción de CO ₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra.....	38
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5.1. Cambios de biomasa en bosques y en otros tipos de vegetación leñosa	39
5.2. Emisiones de CO ₂ procedentes de la conversión de bosques y pastizales	40
5.3. Emisiones de gases traza distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal.....	42
5.4. Abandono de tierras cultivadas	43
5.5. Emisiones o absorción de CO ₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra.....	45
5.6. Resumen de resultados	46

Figura 13. Comportamiento del CO ₂ en las categorías inventariadas y balance final del USCUSyS.....	47
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
VII. LITERATURA CITADA.....	50
VII. ANEXOS	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Grupos de vegetación definidos para el inventario.	25
Cuadro 2. Datos de actividad y factores de emisión tomados del INEGEI 2002.	26
Cuadro 3. Grupos de suelo clasificados en el presente estudio.....	34
Cuadro 4. Contenido de carbono en los grupos de suelo.	35
Cuadro 5. Superficies y absorción de C por grupo de vegetación.	39
Cuadro 6. Superficie convertida y liberación de C debido a quema y descomposición de la biomasa.....	41
Cuadro 7. Comparación de gases distintos al CO ₂ emitidos por el estado de Durango con las emisiones a nivel nacional.	43
Cuadro 8. Comparación de incertidumbres y emisiones de gases traza de algunos Inventarios Estatales de GEI.	43
Cuadro 9. Captura de C en los primeros 20 años y más de 20 años atrás del año del inventario.....	44
Cuadro 10. Resumen del contenido de COS y emisiones de C y CO ₂ por grupo de suelo (las dos regiones climáticas y todos los usos de suelo).....	45
Cuadro 11. Comportamiento del CO ₂ y porcentaje de incertidumbre en las subcategorías USCUSyS.....	47
Cuadro 12. Comparación del flujo de CO ₂ e incertidumbres de algunos Inventarios Estatales de GEI en la categoría USCUSyS.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción del efecto invernadero.	4
Figura 2. Ciclo del Carbono.	5
Figura 3. Emisiones de CO ₂ en México.	11
Figura 4. Ubicación de estado de Durango.	21
Figura 5. Ambiente de trabajo del programa <i>Greenhouse Gas Inventory Software</i> y detalle de las hojas de trabajo.	22
Figura 6. Subcategorías de la categoría USCUSyS y datos de entrada requeridos por el <i>Greenhouse Gas Inventory Software</i>	23
Figura 7. Absorción de C por tipo de vegetación.	39
Figura 8. Absorción y emisión de C debido a cambios en la biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa.	40
Figura 9. Liberación de C debido a combustión y descomposición de la biomasa procedentes de la conversión de bosques y praderas.	41
Figura 10. Emisiones de gases distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de biomasa forestal.	42
Figura 11. Captura de C por tierras con 20 y más años de abandono.	44
Figura 12. Cambio neto de COS (Tg).	46
Figura 13. Comportamiento del CO ₂ en las categorías inventariadas y balance final del USCUSyS.	47

ÍNDICE DE CUADROS EN ANEXOS

Cuadro 1A. Homologación de vegetación de 4 series de la carta de USyV de INEGI con los grupos de vegetación propuestos en el INEGI y el IPCC.	57
Cuadro 2A. Procedimiento de cálculo de las superficies con manejo forestal en el estado de Durango.	58
Cuadro 3A. Cambio neto de COS en el estado de Durango.	58
Cuadro 4A. Cálculo de incertidumbre para la subcategoría de cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa.	59
Cuadro 5A. Cálculo de incertidumbre para la categoría de bióxido de carbono proveniente de la conversión de bosques y pastizales.	60
Cuadro 6A. Cálculo de incertidumbre para la categoría de emisiones de gases distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal.	60
Cuadro 7A. Cálculo de incertidumbre para la categoría de abandono de las áreas manejadas.	61
Cuadro 8A. Cálculo de incertidumbre para la categoría de emisión o absorción de CO ₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra.	61

ÍNDICE DE FIGURAS EN ANEXOS

Figura 1A. Clasificación de los grupos de vegetación del estado de Durango.	62
Figura 2A. Distribución geográfica de los suelos del grupo 1 (HAC) en el estado de Durango.....	62
Figura 3A. Distribución geográfica de los suelos del grupo 2 (LAC) en el estado de Durango.....	63
Figura 4A. Distribución geográfica de los suelos del grupo 3 (arenosos) en el estado de Durango.....	63

I. INTRODUCCIÓN

A partir de la segunda mitad del siglo XX, la temperatura media mundial aumentó más de lo que se había incrementado en los últimos 1300 años (GreenFacts, 2002), lo cual, ha sido relacionado con el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (Valenzuela, 2004).

Para reducir las emisiones de GEI debido a causas antropogénicas, se han tomado varias acciones a nivel mundial, entre ellas, la creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y junto con ella, el Protocolo de Kyoto. Derivado de lo anterior, los países firmantes, se comprometieron a reportar continuamente inventarios de GEI.

En México se han realizado 4 inventarios de GEI a nivel nacional a partir de 1997, así mismo, a nivel estatal comenzaron a reportarse inventarios desde el año 2009. Los inventarios son la base para tener una visión de las fuentes y sumideros de GEI, así mismo, es una herramienta básica para desarrollar un plan de acción en materia de cambio climático.

Dada la importancia del inventario de GEI, es necesario calcular la captura y emisión de estos gases para el estado de Durango, que, hasta la fecha no se ha realizado.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Calcular el inventario de gases efecto invernadero (GEI) debidos al Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS) y determinar las subcategorías clave para el estado de Durango mediante la metodología establecida por el IPCC.

2.2 Objetivos específicos

- Integrar la información requerida para el cálculo de emisión y captura de GEI, originados por el USCUSyS en el estado de Durango.
- Elaborar el inventario de GEI provenientes del USCUSyS para el estado de Durango mediante la aplicación del *Greenhouse Gas Inventory Software* versión 1.3.1 basado en las Directrices del IPCC en su versión revisada en 1996.
- Determinar las subcategorías clave de GEI del estado de Durango.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Bases teóricas

3.1.1. El clima y el efecto invernadero

El clima es dinámico y siempre está cambiando (MacGregor y Nieuwolt, 1998), este dinamismo, puede deberse a causas externas e internas. Las causas externas incluyen cambios en la órbita de la tierra alrededor del sol y variaciones en la energía solar. Las causas internas son los cambios en la circulación oceánica, contenido gaseoso de la atmósfera y cambios en las condiciones de límites geográficos, por su naturaleza, estos factores pueden cambiar los climas a plazos de decenas de miles de años (CONAZA-UACH, 2004).

Referente a la influencia en el clima debido a la composición gaseosa de la atmósfera, existen ciertos gases que por su naturaleza y concentración, causan cambios en la temperatura de la misma. Estos gases son los denominados gases de efecto invernadero (GEI) y los más importantes son: vapor de agua (H_2O) (Valenzuela, 2004), bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), halocarbonos (HFCs, PFCs, SF_6), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO_2) y los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM) (CEDAN-ITSM-INE, 2010).

Los gases GEI son llamados así debido a que son responsables del fenómeno conocido como efecto invernadero, el cual ocurre en cualquier planeta o satélite natural que tenga atmósfera. El efecto invernadero es responsable de que la temperatura media anual de la tierra se conserve en $15\text{ }^{\circ}C$, de no existir este fenómeno, la temperatura global sería de $-18\text{ }^{\circ}C$ (Garduño, 2004).

El efecto invernadero ocurre como se explica a continuación: primero, el planeta recibe radiación solar, la cual es llamada radiación de onda corta, que calienta toda la superficie terrestre; segundo, la superficie de la tierra emite energía de vuelta hacia la atmósfera y el espacio exterior, esta radiación es conocida como infrarroja o de onda larga; tercero, parte de esta radiación es atrapada por los GEI, causando un aumento en la temperatura de la atmósfera (CEDAN-ITSM-INE, 2010) (Figura 1). La influencia en la temperatura va a depender entre otras cosas, del tipo y cantidad de GEI, la causa es debido a que cada gas tiene distinto potencial de calentamiento, por ejemplo, el metano aumenta la temperatura 21 veces más que el CO₂ y el óxido nitroso tiene 310 veces más potencial de calentamiento que el bióxido de carbono (IPCC, 2007).



Figura 1. Descripción del efecto invernadero.

2.1.2. Dinámica del CO₂

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados: la atmósfera, la biosfera, los océanos y los sedimentos. Estos depósitos

son fuentes que pueden liberar el carbono, o sumideros que son los que absorben carbono de otra parte del ciclo. Los mecanismos principales del intercambio del carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (González, 2008).

Las plantas absorben mediante fotosíntesis moléculas de CO_2 provenientes de la atmósfera y los océanos. El regreso de este gas a la atmósfera se debe a la oxidación realizada por los seres vivos, (la mayor parte del CO_2 producido por respiración la hacen las raíces de las plantas y los organismos del suelo) la descomposición de la materia orgánica y como producto final de combustión (González, 2008) (Figura 2).

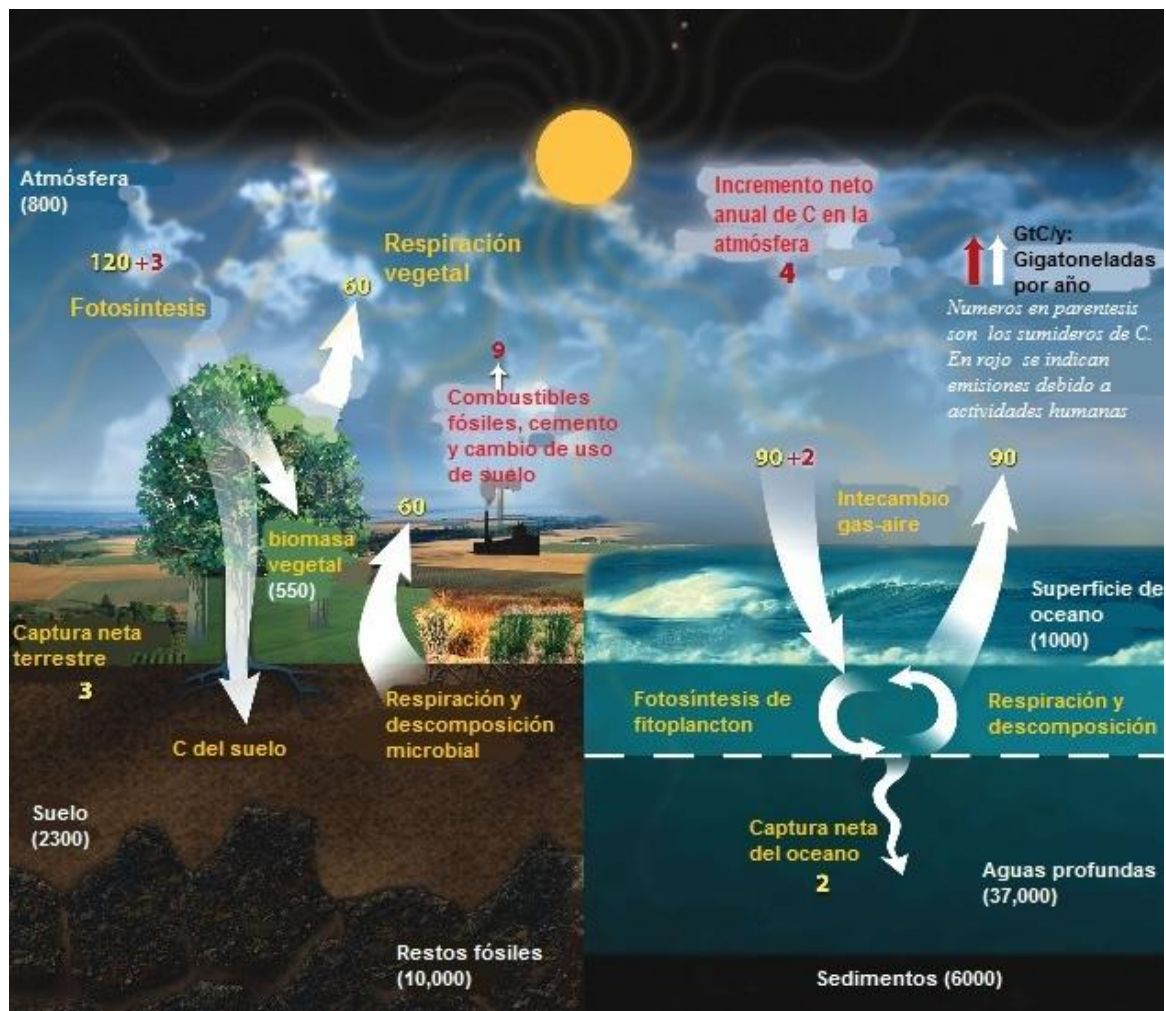


Figura 2. Ciclo del Carbono.
Fuente: DOE, 2008.

2.1.3. Dinámica de gases distintos del CO₂

La fuente natural de CH₄ son los humedales, fuentes geológicas, lagos y vegetación; por otro lado, las fuentes antropogénicas son los cultivos de arroz, sedimentos en cuerpos de agua, vertederos, instalaciones de tratamiento de residuos, digestores, generación de gas natural, quema de biomasa y combustibles fósiles (EPA, 2010).

Las emisiones de CH₄ pueden ser atribuidas al proceso biológico de descomposición anaerobia, realizado por bacterias metanogénicas, que rompen las moléculas de H₂ y CO₂, el metano resultante, puede ser degradado por bacterias metanotróficas y el resto, finalmente, entra en la atmósfera (EPA, 2010).

Otro gas importante es el N₂O, el cual es producido por causas tanto antropogénicas como naturales; las fuentes naturales se deben a procesos microbiológicos en suelos sin cultivar, océanos y otros sistemas acuáticos; las fuentes antropogénicas son los suelos agrícolas (especialmente cultivos fijadores de nitrógeno y forrajes), el uso de fertilizantes sintéticos y estiércol, quema de combustibles fósiles y biomasa, procesos industriales y tratamiento de aguas residuales (EPA, 2010).

Los procesos microbiológicos, para la formación de N₂O son la nitrificación y la desnitrificación. La nitrificación es la mayor fuente de óxido nitroso bajo condiciones aerobias, durante esta, las bacterias son responsables de la oxidación del nitrógeno, que oxidan el amonio (NH₄) para producir dióxido de nitrógeno (NO₂) y también oxidan el NO₂ a nitrato (NO₃); en este proceso se genera algo de N₂O como un producto alternativo de la oxidación del amonio. Durante la desnitrificación se puede formar o consumir N₂O, por lo tanto, este proceso puede ser una fuente y un sumidero para este

gas, dependiendo de las condiciones medioambientales como niveles de oxígeno, niveles de nitrógeno, pH y temperatura (EPA, 2010).

3.2. Panorama mundial

3.2.1. Emisiones históricas y cambios en el clima

En los años entre el periodo preindustrial (1750) y 1990 las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O en la atmósfera aumentaron 32% (280 a 370 ppm), 115% (0.8 a 1.72 ppm) y 7.6% (288 a 310 ppm), respectivamente (Valenzuela, 2004). Por otro lado, la temperatura media mundial de la segunda mitad del siglo pasado aumentó de forma rápida en relación a los últimos 1300 años (0.74 °C en 100 años) (GreenFacts, 2002).

La concentración de CO₂ ha variado a lo largo de las diferentes épocas biológicas, siendo baja durante periodos frescos y altas en periodos cálidos (Genthon *et al.*, 1987). El CH₄ que también influye en la eficacia termal de la atmósfera, ha variado en concentración a lo largo de distintas épocas geológicas, como reflejo total de áreas pantanosas (Goodess *et al.*, 1992). Los aerosoles atmosféricos también tienen efecto en la temperatura, al incrementarse la concentración conlleva a un descenso en la temperatura (Arrhenius, 1994).

Desde hace varias décadas se ha incluido al hombre como una de las causas de cambios en el clima, el cual tiene influencia directa en la producción de GEI (Houghton *et al.*, 1992). Los GEI continúan aumentando debido a que las emisiones por actividades humanas exceden por mucho su grado de captura en el medio; el balance entre las diferentes fuentes y sumideros ha sido alterado, al incrementar el uso de combustibles fósiles y la deforestación (Valenzuela, 2004).

Recientemente (año 2005), se estimó un total mundial de emisiones de GEI de 44,153 Mt (Mega tonelada) de CO₂ equivalente. Las emisiones globales crecieron 12.7% entre 2000 y 2005, con una media de 2.4% por año (WRI, 2009).

3.2.2. Acciones y acuerdos internacionales

Cuando se detectó el problema del cambio climático, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el año de 1988, el cual está abierto a los miembros de las Naciones Unidas y de la OMM (IPCC, 2011).

La función del IPCC es analizar, de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo. El IPCC consta de varios grupos de trabajo, uno de ellos es el equipo especial sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2011).

En el año de 1992 surgió la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en respuesta a la necesidad de establecer un marco jurídico en este tema, para considerar acciones frente al calentamiento global y sus impactos sobre las actividades humanas. Este instrumento se conformó por más de 150 países (incluyendo México). En 1995, los gobiernos acordaron adoptar compromisos más firmes que los planteados en la CMNUCC y el 11 de diciembre de 1997, se adoptó

el Protocolo de Kyoto, el cual entró en vigor para los países firmantes el 15 de febrero de 2005 (CEDAN, ITSM e INE, 2010).

Dos de los objetivos de la CMNUCC son: 1) Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y poner a disposición de la conferencia sus inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas, clasificadas por fuentes, y de las remociones, clasificadas por sumideros; y 2) Emplear metodologías comparables para los inventarios. Para cumplir estos objetivos, el IPCC creó las Directrices del IPCC para los inventarios de los GEI, versión revisada en 1996. Las directrices revisadas también incluyen la elaboración de un software que goza de aprobación internacional para el cálculo a nivel nacional de GEI (IPCC, 1996).

En el 2001 la CMNUCC invitó al IPCC a elaborar métodos para estimar, medir, vigilar y notificar las variaciones de GEI debidas a las actividades de Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura, por lo que se elaboró la orientación sobre las buenas prácticas para UTCUTS (USCUSS), sobre la base de las directrices de IPCC (IPCC, 2003).

3.2.3. Categorías de inventarios de GEI

De acuerdo a las directrices del IPCC (1996), se deben de cuantificar los GEI de las siguientes categorías: 1) energía; 2) procesos industriales; 3) utilización de disolventes y otros productos; 4) agricultura; 5) cambio de uso de la tierra y silvicultura.

3.3. Panorama nacional

La CMNUCC fue firmada por México el 13 de junio de 1992 y ratificada el 11 de marzo de 1993, luego de la aprobación por parte del Senado de la República entró en vigor el 21 de marzo de 1994. La CMNUCC distingue entre los países que forman parte

de ella en función de su desarrollo económico, catalogándolos en países Anexo 1 y países No Anexo 1, México es parte de los países No Anexo 1. A diferencia de los países del Anexo 1 que tienen el compromiso de reducir en 5% sus emisiones para 2012, México no está obligado (CEDAN, ITSM e INE, 2010).

En materia legal respecto al tema de cambio climático, la república Mexicana no tiene una ley en específico, su atención está contenida dentro de un conjunto de leyes y acuerdos generales; en particular, resaltan las leyes de aplicación general en los sectores de medio ambiente y energía (CEDAN, ITSM e INE, 2010).

El 25 de abril de 2005, se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), la cual, actualmente es un instrumento de gestión gubernamental para coordinar las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal en dicha materia (CEDAN, ITSM e INE, 2010).

3.3.1. Comunicaciones Nacionales de GEI

La primera comunicación de emisiones ante la CMNUCC fue realizada en el año de 1997, en dicha comunicación el país se ubica en el lugar 15 con mayores emisiones de CO₂ y entre los primeros 20 con mayores emisiones per cápita, sin embargo, su participación global es menor al 2% del total mundial (SEMARNAP, 1997).

La segunda comunicación fue en el 2001, en la cual se actualizó el inventario para los años 1994, 1996 y 1998. En 1996, las emisiones fueron de alrededor de 686 mil Gg de CO₂ equivalente, tomando en consideración al CO₂, CH₄ y N₂O, con 514,047 Gg (75%), 157,648 Gg (23%) y 14,422 Gg (2%), respectivamente. En lo que respecta al sector USCUSyS en el año 1996, las emisiones de CO₂ fueron de 157 mil Gg (SEMARNAT e INE, 2001).

En la tercera comunicación se recalcularon los años 1990 a 1998 y se calculan por primera vez los años 1999 a 2002. Las emisiones de GEI para 2002, en unidades de CO₂ equivalente y con cifras preliminares de la categoría USCUSyS, se estimaron en 643,183 Gg (SEMARNAT e INE, 2006).

En la cuarta comunicación se realizó una actualización de los años 1990 a 2006. En 2006, las emisiones totales fueron de 709,005 Gg de CO₂ equivalente. La categoría USCUSyS contribuyó con 70,202 Gg, es decir, 9.9% del total emitido (SEMARNAT e INE, 2009) (Figura 3).

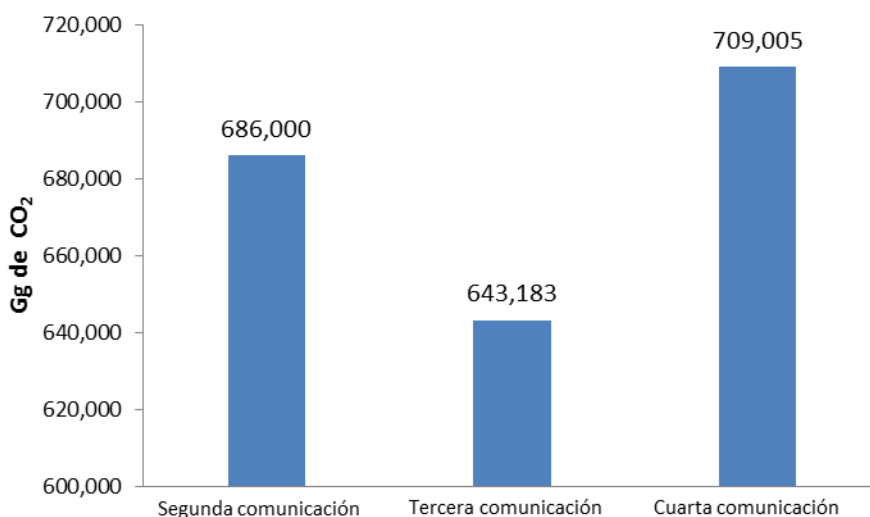


Figura 3. Emisiones de CO₂ en México.

3.3.2. Inventarios Estatales de GEI

El Instituto Nacional de Ecología (INE), a través de la Coordinación del Programa de Cambio Climático (CPCC), asesora técnicamente a las Entidades Federativas en la elaboración de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) (INE, 2011).

Elaborar un PEACC implica realizar un inventario de emisiones de GEI, actualmente, la mayoría de los estados de la república mexicana cuentan con un inventario completo. Los primeros estados en realizar su inventario de GEI fueron Veracruz, Nuevo León, Puebla y también el Distrito Federal, seguidos de los demás, con excepción de Sinaloa y Colima (INE, 2011).

3.4. Importancia de los bosques

En México, los bosques de coníferas y latifoliadas ocupan el 15.4% del territorio Nacional (González, 2008). Los bosques tropicales almacenan más del 80% de carbono en los árboles y menos del 20% en el suelo. Cuando los árboles tropicales son cortados y quemados, la mayor proporción de carbono se libera a la atmósfera, mientras que en los bosques de latitudes medias la mitad del carbono permanece en el suelo (CONAZA y UACH, 2004).

Los efectos de la deforestación en el clima local son claros, al remover el dosel formado por los árboles desaparecen las capas de aire aislante, incrementándose el rango de temperaturas en la superficie debido al calentamiento directo del suelo durante el día y el enfriamiento rápido durante la noche por la pérdida de energía por radiación. (CONAZA y UACH, 2004).

3.5. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

3.5.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa

3.5.1.1. Cuantificación de la biomasa

Existen dos métodos para calcular el contenido de biomasa, que son los siguientes (Vallejo *et al.*, 2007):

1. **Método directo:** Consiste en medir el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, diámetro y longitud de copa. Implica derribar el árbol y pesar cada uno de sus componentes (fuste, ramas y follaje).
2. **Método indirecto:** Se toman muestras de madera del componente del árbol, se pesan en el campo y luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco. Para calcular la cantidad de biomasa se utilizan ecuaciones matemáticas, las cuales se obtienen a partir de técnicas estadísticas que relacionan la biomasa con variables del árbol medibles en pie, tales como el DAP, altura total y diámetro de copa, principalmente (Vallejo *et al.*, 2007).

3.5.1.2. El carbono en la biomasa

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que se derive de animales y vegetales, por lo que es considerada como la masa total de cualquier organismo vivo en una zona o volumen determinado, y viene a ser un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en el bosque (FAO, 1998; IPCC, 2001; López *et al.*, 2003).

El volumen de biomasa forestal permite elaborar previsiones sobre el ciclo mundial del carbono, que es un elemento de importancia en los estudios sobre el cambio climático (Návar *et al.*, 2001).

En la actualidad, los estudios sobre la biomasa tienen como finalidad entender los ciclos de la energía y de los nutrientes; también se están usando para observar el efecto de la vegetación en el ciclo global de CO₂. Algunos modelos de CO₂ incluyen la estimación de la biomasa o una función de la biomasa como el volumen, sus componentes o algunos parámetros relacionados, para establecer los flujos de este gas

entre la vegetación, el suelo y la atmósfera. Dada esa importancia ambiental, las ecuaciones de biomasa se han desarrollado para bosques tropicales, templados y algunos tipos de vegetación semiárida. (Návar *et al.*, 2001).

3.5.1.3. Manejo de bosques

La superficie forestal del estado de Durango alcanza 8.5 millones de ha, de las cuales 5.7 millones se conforman por bosques y selvas, de éstas, solamente el 17% cuentan con plan de manejo. El volumen de aprovechamiento anual autorizado por SEMARNAT en el año 2005 fue de 2,806,542 m³, sin embargo, solo se aprovecharon 1,857,261 m³. Las principales especies aprovechadas, son Pino verde (75%) y Encino (19%). En general, Durango tiene una productividad de 1.9 m³ha⁻¹año⁻¹ (Madrid y Barrera, 2008).

3.5.1.4. Consumo de leña

La leña es una de las principales fuentes de energía utilizada en las zonas rurales de México, donde es una fuente primordial de combustible para cocinar y para calefacción (Návar *et al.*, 2001), aunque también tiene importancia en la pequeña y mediana industria, como en el caso del carbón, ladrilleras, panaderías, alfarerías, etc. (Camou, 2007).

Alrededor de la cuarta parte de la población mexicana, entre 25 y 28 millones de habitantes cocina con leña (Masera *et al.*, 2004), siendo el consumo diario promedio por persona de 4.7 ± 2.1 Kg en la Sierra Tarahumara, según un estudio realizado por Camou (2007).

3.5.2. CO₂ proveniente de la conversión de biomasa de Bosques y Pastizales

La conversión de bosques y praderas a tierras de cultivo o pastos permanentes ocurre principalmente en los trópicos. Cuando la tala sucede en bosques tropicales, es frecuente que después se realice la quema de la vegetación que queda en el suelo, o bien aprovechan esa vegetación como leña, aun así, parte de la biomasa se queda en el campo, donde se descompone lentamente (10 años), al igual que cierta fracción que se convierte en carbón vegetal (que se descompone durante más de 100 años) (IPCC, 1996).

3.5.2.1. Conversión de tierras

La conversión de tierras se refiere al cambio de uso de suelo, el cual está asociado a deforestación, degradación, desertificación y pérdida de biodiversidad (Velázquez *et al.*, 2002).

La deforestación afecta a los ecosistemas forestales, los que contienen grandes cantidades de carbono almacenado en biomasa viva, muerta y el suelo. Las causas de deforestación en México son: desmontes agropecuarios (82%); tala ilegal (8%); incendios forestales (3%); plagas y enfermedades (3%); cambios autorizados (2%) y otros (2%) (Elvira, 2006).

Entre los años 1993 a 2000 la deforestación fue de 7,894,921 ha, es decir, una tasa anual de 1,127,845 ha, condición que coloca a México entre los países con los índices más altos en este rubro (Serrato, 2002).

3.5.3. Emisiones de gases distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal

La combustión en fuegos forestales (y en vegetación general) no es un proceso químicamente eficiente, ni siquiera en las circunstancias más favorables (PNUMA. 2005). En una combustión completa de madera se produce solo C, H y O (Manso, 2003), sin embargo, las condiciones óptimas para la combustión no suceden en un incendio forestal, debido principalmente al contenido de agua en el combustible, la falta de oxígeno dentro y alrededor de fuego y a la presencia de viento que desplaza a los gases parcialmente oxidados (PNUMA. 2005).

Debido a lo mencionado en el párrafo anterior y a la diversidad de componentes de la madera, la quema de biomasa es fuente de GEI, como CO₂, CH₄ y N₂O, además se producen gases químicamente activos, incluyendo el CO, hidrocarburos no metánicos y NO (Levine, 1994).

3.5.3.1. Quema de biomasa

Los incendios forestales modifican la diversidad y abundancia de las especies arbóreas y arbustivas presentes en el área quemada, por ejemplo, la familia Fagaceae se ve favorecida al proliferar según un estudio realizado por Alanís *et al.* (2008).

En el estado de Durango en el año 2010 se incendiaron 5084 ha y en lo que va del 2011, se han quemado 41,999 ha, de las cuales 20,185 son de pastos naturales, 17,036 son de arbustos y matorrales, 2,407 de renuevos y 2,372 de área arbolada (SEMARNAT, 2011).

3.5.4. Abandono de áreas manejadas

El abandono de tierras implica absorción de CO₂, debido a la acumulación de biomasa procedente del abandono de tierras cultivadas (cultivos anuales y pastizales de pastoreo). La acumulación de carbono en las tierras abandonadas depende del tipo de ecosistema natural (tipo de bosque o praderas) que vuelve a crecer. Cuando se abandonan las tierras cultivadas, el carbono podría o no volver a acumularse en la tierra (IPCC, 1996).

3.5.5. Emisión o absorción de CO₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra

El carbono orgánico del suelo (COS) juega un rol importante en el ciclo global del C, contribuyendo con 68 a 98 Pentagramos de C por año, siendo así, el segundo flujo mas grande de C entre el ecosistema y la atmósfera. Pequeños cambios en los almacenes de COS, afectan directamente el contenido de CO₂ en la atmósfera (Weihermuller *et al.*, 2011).

El COS es parte de la materia orgánica del suelo, los componentes que lo conforman son residuos vegetales de menos de 2 mm y humus. El contenido de COS puede variar del 1% en suelos arenosos a más del 20% en suelos pantanosos o ciénagas, otro aspecto que causa su variación es la vegetación, ya que los suelos con bosques creciendo sobre ellos tienden a acumular altos niveles de COS en la parte superficial, así mismo, la temperatura y la lluvia causan grandes diferencias en el almacenamiento del carbono orgánico (FAO, 2002).

También está documentado que ciertos manejos del suelo repercuten en las existencias de carbono del suelo. Por ejemplo, el experimento de Versailles (Francia) se obtuvo que en 50 años el contenido de carbono en el suelo sin enmiendas disminuyó de un 60% a un 0.7%, mientras que en el suelo con fertilizantes orgánicos (100 t ha⁻¹ año⁻¹)

aumentó en 50% a 2.5% En otro experimento (Rothamsted -trigo Broadbalk), la aplicación de estiércol llevó a la duplicación del COS, con solo residuos de los cultivos, el contenido se mantuvo estable y en la conversión de tierras de pastoreo a tierras arables resultó en una pérdida de 55% de carbono total en un plazo de 20 años, de 3,5% a 2% de carbono (FAO, 2002).

3.6. Cálculo de incertidumbre

El término incertidumbre desde el punto de vista estadístico, se refiere a la medición de la variación que existe en un conjunto de datos. Para medir esta variación se utilizan las medidas de dispersión, por ejemplo, la desviación media absoluta, la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de variación, etc. Sin embargo, la incertidumbre en los inventarios de GEI es un término general e impreciso que se refiere a la falta de certeza que se deriva de cualquier factor causal, como la existencia de fuentes y sumideros no identificados, la falta de transparencia, etc. (IPCC, 2001), de modo que algunos datos pueden tratarse por medios estadísticos y otros no.

Las incertidumbres de los inventarios se deben principalmente a: 1) las definiciones (por ejemplo, definición incorrecta de una emisión o absorción); 2) la variabilidad natural del proceso que produce una emisión o absorción; 3) incertidumbres que resultan de la evaluación del proceso o la cantidad como en la medición, el muestreo, descripción incompleta de los datos de referencia, y el dictamen de expertos (IPCC, 2001).

De preferencia, las incertidumbres deben presentarse como un intervalo de confianza, en las Directrices del IPCC se recomienda utilizar el 95%, ya que así existe un 95% de probabilidades de que se obtenga el valor real que se desconoce, por otro

lado, también pueden expresarse en porcentaje que equivale a la mitad de la magnitud del intervalo de confianza dividido entre el valor de la cantidad estimada. El porcentaje de incertidumbre se utiliza cuando se conoce la FDP y cuando se recurre a un esquema de muestreo o al dictamen de experto (IPCC, 2003).

Existen situaciones típicas de disponibilidad de información que van a repercutir en el cálculo de incertidumbres, estas situaciones se enlistan a continuación (IPCC, 2001):

- *Vigilancia continua de las emisiones:* Se da muy raramente, y por la cantidad de información que se tiene, es posible calcular directamente la función de densidad de probabilidad (FDP). El procedimiento para obtener la incertidumbre en este caso, consiste en calcular la FDP de la diferencia entre las FDP's de las emisiones anuales, de modo que tendrá media y desviación estándar como a continuación:

$$media = \mu_1 - \mu_2$$

$$desviación\ estándar = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}$$

Donde: μ_1 y μ_2 son los valores medios de las emisiones en los años t_1 y t_2 , y σ_1 y σ_2 son las desviaciones estándar de las funciones de densidad de probabilidad de las emisiones en los años t_1 y t_2 . Los límites de confianza del 95% (esta vez, de la media o de la diferencia en las medias) estarán dados por aproximadamente dos desviaciones estándar.

- *Determinación directa de los factores de emisión:* Un factor de emisión se va a obtener al vincular cierta actividad de un lugar con las mediciones periódicas de emisiones de ese mismo sitio. Para lograr representatividad, quizás sea necesario

estratificar los datos. El describir correctamente la variabilidad de los datos implica decidir que FDP usar, que depende del tipo y cantidad de información.

- *Factores de emisión extraídos de referencias publicadas:* Al usar este tipo de información, habrá incertidumbres asociadas con las mediciones originales y con el uso de los factores en otras circunstancias distintas a las de las mediciones originales. Cuando se emplean este tipo de datos, las incertidumbre deben de calcularse a partir de: investigaciones que contengan datos específicos o a partir de lo establecido en la orientación de las buenas prácticas; en el caso de la primera opción será necesario obtener los datos originales para calcular su FDP, en el caso de utilizar la orientación de las buenas prácticas, se tomarán las incertidumbres por defecto de los factores de emisión empleados.
- *Datos de actividad:* Los datos de actividad suelen ser recopilados y publicados regularmente por los organismos nacionales de estadísticas, de ser así, es posible que estos ya hayan hecho un análisis de incertidumbre a los datos expuestos, por lo que es necesario contactar directamente a los responsables de los datos y averiguar los valores.
- *Dictamen de expertos:* El objetivo del dictamen de expertos es elaborar una función de densidad de probabilidad, teniendo en cuenta las siguientes preguntas: ¿La fuente de emisiones es similar a otras fuentes?, ¿Cómo se compara probablemente la incertidumbre?, ¿Hasta qué punto se conoce bien el proceso de emisión?, ¿Se han identificado todas las fuentes posibles de emisión?, ¿Existen límites físicos acerca de cuánto puede variar el factor de emisión? y ¿Las emisiones son coherentes con las concentraciones en la atmósfera?.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

El presente trabajo se realizó para el estado de Durango, que se encuentra ubicado en la zona central norte de la República Mexicana entre los paralelos 22° 19' y 26° 48' de latitud norte y entre los meridianos 107° 11' y 102° 28' de longitud oeste (Figura 4).



Figura 4. Ubicación de estado de Durango.
Fuente: CONABIO, 2008.

4.2. Descripción del software

Se utilizó el programa *Greenhouse Gas Inventory Software* versión 1.3.1., el cual, trabaja sobre la plataforma Microsoft Excel (Figura 5) y abarca todas las categorías necesarias para realizar un inventario completo de GEI.

Para realizar el presente trabajo, solo se dispuso de las hojas de cálculo correspondientes al Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS). Las emisiones y absorciones de GEI fueron calculadas tomando como referencia las

Directrices del IPCC en su versión revisada en 1996, el cálculo básico se resume en la siguiente fórmula:

$$\text{Estimación de la emisión} = \text{Datos de actividad} * \text{Factor de emisión} \quad (1)$$

Donde los datos de actividad describen la magnitud de una actividad y el factor de emisión es la masa de los GEI por unidad de actividad (PNUD y FMAM, 2009).

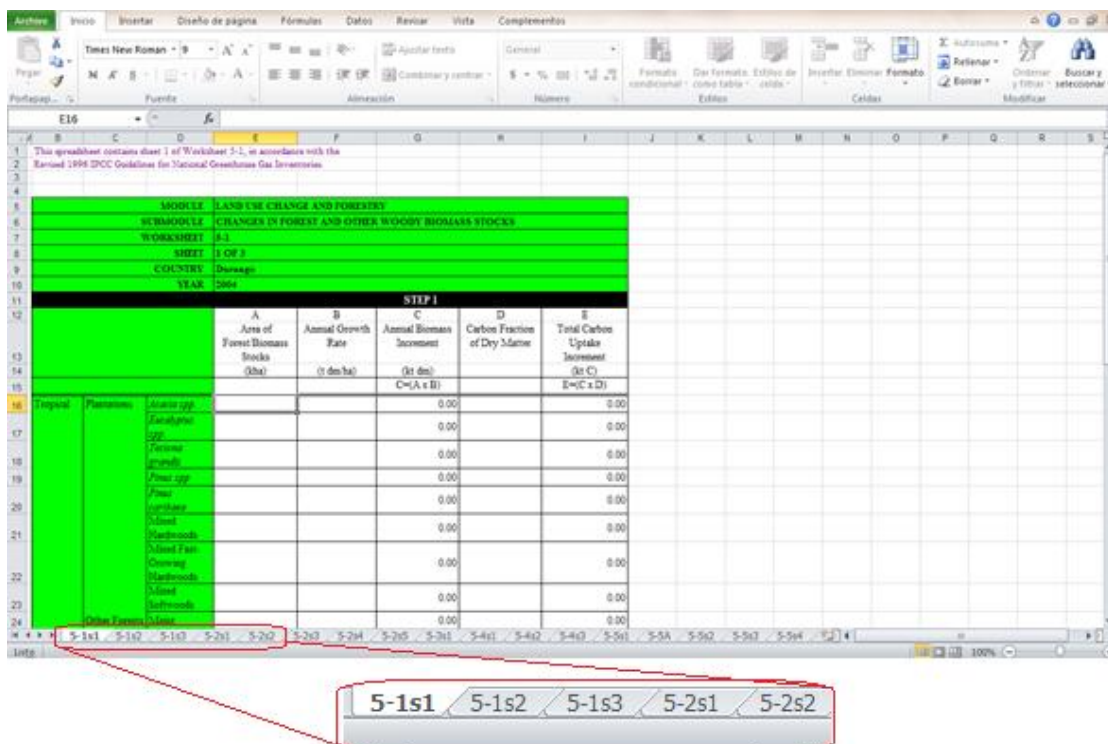


Figura 5. Ambiente de trabajo del programa *Greenhouse Gas Inventory Software* y detalle de las hojas de trabajo.

4.3. Cálculo del inventario

Las categorías de la categoría USCUSyS y sus respectivos datos de actividad y factores de emisión del inventario se muestran en la Figura 6. En el presente inventario, no se tiene definido un año de estudio, pues la información de superficies de vegetación se obtuvo de los años de 1976, 1993, 2003 y 2009, en lo que concierne a información de extracción de volumen de madera, se recurrió a datos del 2005 al 2008 y para datos de uso de leña se empleó información del 2007.

USCUSyS

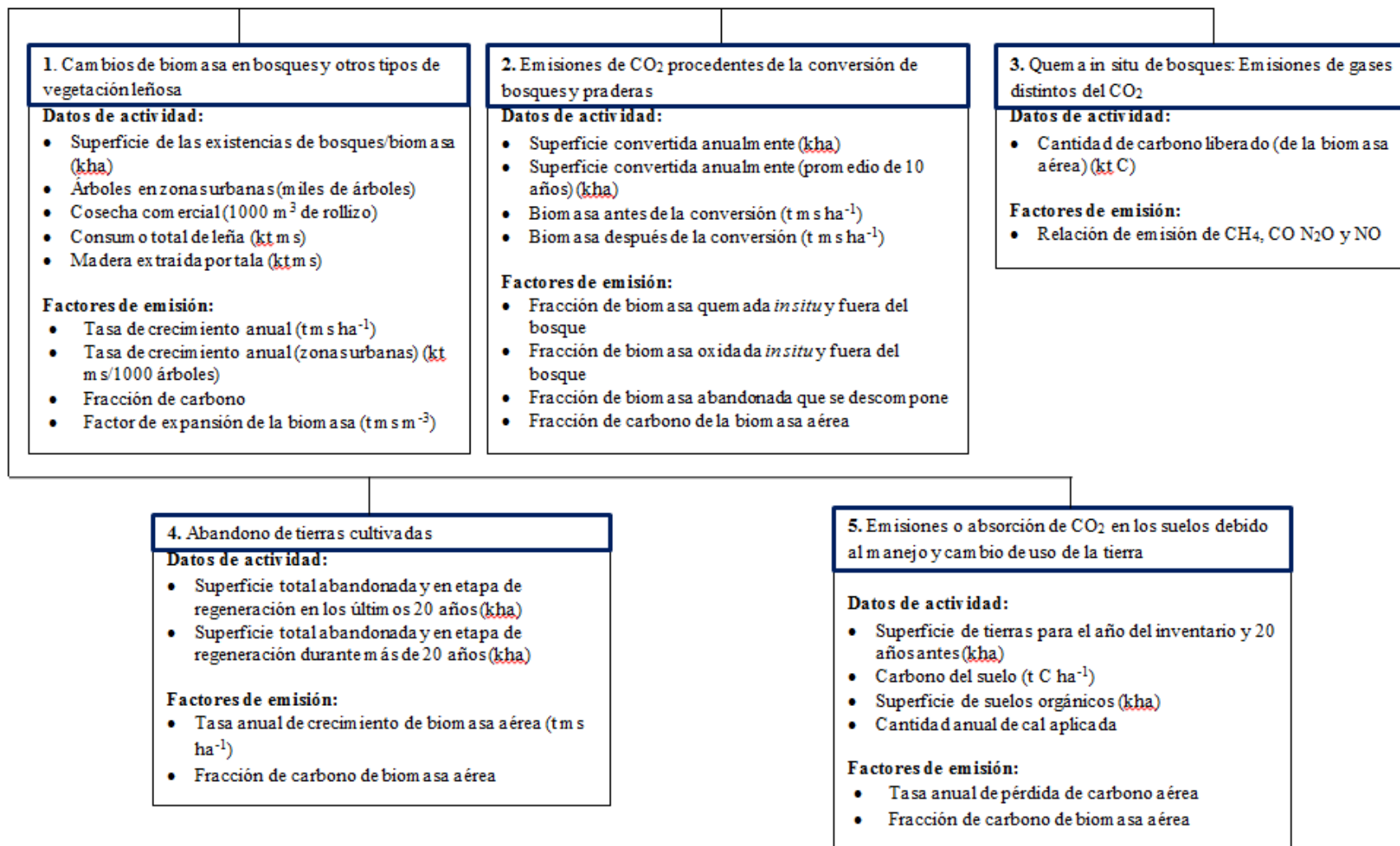


Figura 6. Subcategorías de la categoría USCUSyS y datos de entrada requeridos por el *Greenhouse Gas Inventory Software*.
Fuente: IPCC, 1996.

4.3.1. Cambios de Biomasa en Bosques y otros tipos de vegetación leñosa

En ésta categoría se cuantificaron las emisiones y remociones de carbono debidas a cambios en la biomasa como resultado de la actividad humana (IPCC, 1996). Los pasos realizados para el cálculo se enuncian a continuación.

- **Paso 1:** Estimación del contenido total de carbono en el crecimiento anual de los bosques explotados y plantados

Las ecuaciones básicas en que se basa el cálculo de éste paso son las ecuaciones 2 y 3:

$$\Delta C_{FFG} = \sum_{i=1} (A_i * G_i) * CF \quad (2)$$

Donde:

C_{FFG} = Absorción de carbono debido al crecimiento anual de bosques (kt C); A_i = Superficie de las existencias de bosques/biomasa (i = desde 1 hasta n) (kha); G_i = Tasa de crecimiento anual (i = desde 1 hasta n) (t ms ha⁻¹); CF = Fracción de carbono de la materia seca.

Para calcular la superficie de las existencias de vegetación, se procesó la carta de INEGI de Uso de Suelo y Vegetación (USyV) serie IV (2009) escala 1:250000 con el programa ArcMap 10. El procedimiento realizado fue el siguiente:

1. La carta de USyV se clasificó en 7 tipos de vegetación (Cuadro 1y Figura 1A de anexos) de acuerdo a la homologación mostrada en el Cuadro 1A de anexos.
2. Se calculó la superficie de cada tipo de vegetación.

Las tasas de crecimiento anual de biomasa se obtuvieron del INEGEI 2002 (SEMARNAT e INE, 2006) y se observan en el Cuadro 2. La fracción de carbono considerada fue de 0.5 como dato por defecto manejado en las Directrices del IPCC (IPCC, 1996).

La tasa de incremento medio anual de biomasa se calculó a partir de la combinación de incrementos volumétricos de madera con la densidad básica de la madera y factores de expansión para incrementos de biomasa, como se muestra en la ecuación 3.

$$G = Iv * D * BEF \quad (3)$$

Donde:

G= Tasa de crecimiento anual (t ms ha⁻¹); **Iv**= Incremento medio anual de volumen de madera comercial (m³ ha⁻¹ año⁻¹); **D**= Densidad básica de la madera (t ms m⁻³); **BEF**= Factor de expansión de biomasa

Cuadro 1. Grupos de vegetación definidos para el inventario.

Tipos de vegetación	Vegetación de Durango*
1. Coníferas	• Bosque de coníferas • Bosque cultivado
2. Latifoliadas	• Bosque de encino • Bosque mesofilo
3. Húmedos	• Selva subcaducifolia
4. Estacionales	• Selva caducifolia
5. Secos	• Matorral xerófilo A • Matorral xerófilo S • Vegetación halofila
6. Pastizales	• Pastizal • Vegetación inducida
7. Otros	• Industrial, agrícola, pecuario y forestal • Otros tipos • Otros conceptos • Agua

*Basado en las cartas de USyV de INEGI series I, II, III y IV

○ **Paso 2:** Estimación de la cantidad de biomasa cosechada

Las ecuaciones básicas en que se basa el cálculo de éste paso son las número 4 y 5.

$$\Delta C_{FFL} = L_{comercial} + L_{leña} \quad (4)$$

Donde:

C_{FFL}= Consumo total de biomasa (kt ms); **L_{comercial}** = Biomasa consumida por cosecha comercial (kt ms); **L_{leña}** = Consumo total de leña (kt ms).

Cuadro 2. Datos de actividad y factores de emisión tomados del INEGI 2002.

Tipos de vegetación	A	B	C	D
Bosque coníferas	1.3	93.0	28.2	1.3
Bosque de latifoliadas	1.3	61.6	28.0	1.3
Selva alta y mediana	---	104.1	32.4	---
Selva perennifolia	---	---	---	0.7
Selva caducifolia	---	---	---	0.26
Selvas bajas	1	37.31	23.3	---
Selvas altas	2	---	---	---
Matorral	---	37	17.2	0.26
Matorral xerófilo	0.5	---	---	---
Pastizal natural	---	0	0	s.d.
Tipo de aprovechamiento	Densidad (t ms m ⁻³)			FEB
Pino	6,022			1.30
Otras coníferas	38			1.30
Encino	471			1.40
Otras latifoliadas	55			1.40

Fuente: (SEMARNAT e INE, 2006).

A = Incremento de biomasa con manejo forestal (t ms ha⁻¹ año⁻¹); B = Biomasa antes de la conversión Mg ms ha⁻¹; Biomasa después de la conversión (Mg ms ha⁻¹); C = Biomasa después de la conversión (Mg ms ha⁻¹); D = Incremento por regeneración natural (Mg ms ha⁻¹)

$$L_{comercial} = H * D * BEF_2 \quad (5)$$

Donde:

$L_{comercial}$ = Biomasa extraída por cosecha comercial (kt ms); H = Cosecha comercial (1000 m³ de rollizo); D = Densidad básica de la madera (t ms m⁻³); BEF_2 = Factor de expansión de biomasa.

El volumen de madera comercial extraída anualmente en los años 2005 a 2008, se obtuvo de los anuarios forestales de SEMARNAT, en las categorías de cosecha de pino, otras coníferas, encino, otras latifoliadas y maderas muertas. La densidad básica de la madera se obtuvo a partir de datos de INEGI 2002 (SEMARNAT e INE, 2006), los datos se observan en el Cuadro 2, al igual que el factor de expansión de biomasa.

Para calcular el consumo de leña se consideró el dato obtenido por Camou (2007), que es de 4.7 kg por persona por día. Se tomó en cuenta la población de las comunidades del estado con menos de 2500 habitantes (localidad rural) del estado,

existente en el año 2000 (INEGI, 2000). El consumo de leña se calculó para el año 2008, tomando en cuenta un crecimiento anual del 0.41% INEGI 2002 (SEMARNAT e INE, 2006). La siguiente fórmula es la que se empleó para obtener la cantidad de leña consumida:

$$L_{leña} = PTE * CLP \quad (6)$$

Donde:

$L_{leña}$ = Consumo total de leña (kt ms); PTE = Población total estimada; CLP = Consumo de leña por persona (kt ms día⁻¹). El valor resultante de la fórmula anterior se multiplicó por 365 para obtener el consumo de leña anual.

○ **Paso 3:** Conversión de la madera cosechada a carbono liberado

Una vez obtenido el consumo total de biomasa, se le restó la biomasa pérdida a causa de incendios y se multiplicó por la fracción de carbono, tal como se ilustra en la ecuación 7.

$$\Delta C = ((L_{comercial} + L_{leña}) - Q) * CF \quad (7)$$

Donde:

ΔC = Liberación anual de carbono (kt C); $L_{comercial}$ = Biomasa consumida por cosecha comercial (kt ms); $L_{leña}$ = Consumo total de leña (kt ms); Q = Madera extraída por tala de bosques; CF = Fracción de carbono (se consideró 0.5 que es el valor por defecto propuesto por el IPCC).

○ **Paso 4:** Estimación de la cantidad neta anual de carbono absorbido o emitido

En este último paso solo es necesario restar los incrementos en los almacenes de carbono menos la liberación de este elemento, tal cual se observa en la ecuación 8.

$$ALC = \nabla C - \Delta C \quad (8)$$

Donde:

ALC = Absorción o liberación de carbono (kt C); ∇C = Incremento total de la absorción de carbono (kt C); ΔC = Liberación anual de carbono (kt C).

4.3.2. Bióxido de carbono proveniente de la conversión de bosques y pastizales

En esta categoría se toman en cuenta las emisiones provenientes de la quema de residuos vegetales y la biomasa que se descompone lentamente en el suelo (IPCC, 1996), los pasos que se realizan para el cálculo de la liberación de C son:

- **Paso 1:** Estimación de la biomasa talada

$$PB = SC * (BAC - BDC) \quad (9)$$

Donde:

PB = Pérdida anual de biomasa (kt ms); SC = Superficie convertida anualmente (kha); BAC = Biomasa antes de la conversión (t ms ha⁻¹); BDC = Biomasa después de la conversión (t ms ha⁻¹).

La superficie convertida anualmente se obtuvo al procesar las cartas de USyV series III (2003) y IV (2010) escala 1:250 000 de INEGI con el programa ArcMap 10. Se realizó una homologación de vegetación (Cuadro 1A de anexos), se calculó la superficie y se comparó para obtener la diferencia (superficie convertida).

La biomasa antes y después de la conversión se obtuvo a partir de lo reportado en el INEGEI 2002, los datos se muestran en el Cuadro 2.

- **Paso 2:** Estimación del carbono liberado por la quema de biomasa aérea *in situ*

$$\Delta CI = ((PB * FQI) * FOI) * CF \quad (10)$$

Donde:

ΔCI = Cantidad de carbono liberado de la biomasa quemada *in situ* (kt C); PB = Pérdida anual de biomasa (kt ms); FQI = Fracción de biomasa quemada *in situ*; FOI = Fracción de biomasa oxidada *in situ*; CF = Fracción de carbono de la biomasa aérea.

La pérdida anual de biomasa se calculó de la misma forma mencionada en el paso anterior, en cuanto a la fracción de biomasa quemada *in situ*, y fracción de carbono, se utilizó 0.5 para ambos, de acuerdo a los valores por defecto reportados en el libro de trabajo del IPCC (1996).

- **Paso 3:** Estimación del carbono liberado por la quema de la biomasa aérea fuera del bosque

$$bqf = PB * fbq \quad (11)$$

Donde:

bqf = Cantidad de biomasa quemada fuera del bosque (kt ms); PB = Pérdida anual de biomasa (kt ms); fbq = Fracción de biomasa quemada fuera del bosque.

La pérdida anual de biomasa y la fracción de biomasa quemada fuera del bosque se calcularon de la misma forma que en el paso anterior.

Finalmente, se calculó el carbono liberado debido a la quema fuera del bosque, con la siguiente fórmula:

$$\Delta CF = (bqf * fbo) + CF \quad (12)$$

Donde:

ΔCF = Cantidad de carbono liberado de la biomasa quemada fuera del bosque (kt C);

bqf = Cantidad de biomasa quemada fuera del bosque (kt ms); fbo = Fracción de biomasa oxidada fuera del bosque; CF = Fracción de carbono de la biomasa aérea quemada fuera del bosque.

La fracción de biomasa quemada y oxidada fuera del bosque, así como la fracción de carbono fueron de 0.5, 0.9 y 0.5, respectivamente, de acuerdo a valores por defecto propuestos por el libro de trabajo (IPCC, 1996).

- **Paso 4:** Estimación del carbono total liberado por la combustión de la biomasa aérea *in situ* y fuera del bosque

$$\Delta CIF = \Delta CI + \Delta CF \quad (13)$$

Donde:

ΔCIF = Carbono total liberado de la quema *in situ* y fuera del bosque (kt C); ΔCI = Cantidad de carbono liberado por quema *in situ* (kt C); ΔCF = Cantidad de carbono liberado de la biomasa quemada fuera del bosque (kt C).

- **Paso 5:** Estimación del CO₂ liberado por la descomposición de la biomasa aérea

$$\Delta CD = ((SM * (BAC - BDC)) * FAD) * CF \quad (14)$$

Donde:

ΔCD = Carbono liberado de la biomasa aérea por descomposición (kt C); SM = Superficie media convertida (promedio de 10 años) (kha); BAC = Biomasa antes de la conversión (t ms ha⁻¹); BDC = Biomasa después de la conversión (t ms ha⁻¹); FAD = Fracción abandonada que se descompone; CF = Fracción de carbono de la biomasa aérea.

La superficie convertida anualmente se calculó como se mencionó ya anteriormente, al igual que la biomasa antes y después de la conversión, mientras que el valor de la fracción de biomasa abandonada que se descompone (0.5) y la fracción de carbono de la biomasa (0.5) se obtuvieron del libro de trabajo de las directrices del IPCC (IPCC, 1996).

- **Paso 6:** Estimación del total de emisiones de CO₂ procedentes de la conversión de bosques y praderas

$$\Delta CTC = (\Delta CIF + \Delta CD) * (44/12) \quad (15)$$

Donde:

ΔCTC = Total anual de CO₂ liberado por causa de conversión de bosques y praderas (GgCO₂); ΔCIF = Carbono liberado por quema *in situ* y fuera del bosque (kt C); ΔCD = Carbono liberado de la biomasa aérea por descomposición (kt C).

Una vez sumadas las emisiones de C debido a quema y descomposición, el dato obtenido se multiplicó por el factor de conversión para transformar el C emitido a CO₂.

4.3.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal

Los gases cuantificados son el CH₄, N₂O, CO y NO_x, ya que cada uno de estos compuestos tienen distinto peso molecular, los factores de conversión a C y CO₂, son distintos. Para calcular estas emisiones se usaron las fórmulas 15, 16, 17 y 18.

- **Paso 1:** Estimación de nitrógeno liberado

$$\Delta N = \Delta CIF * N:C \quad (15)$$

Donde:

ΔN = Total de Nitrógeno liberado (kt N); ΔCIF = Carbono total liberado de la quema *in situ* y fuera del bosque (kt C); $N:C$ = Relación Nitrógeno-Carbono. La relación N:C es de 0.01 según el valor por defecto en el libro de trabajo del IPCC (IPCC, 1996).

- **Paso 2:** Estimación de las emisiones de gases distintos del CO₂

$$\Delta GD = \Delta CIF * RE \quad (16)$$

Donde:

ΔGD = Emisiones de gases distintos de CO₂ (Kt C); **ΔCIF** = Carbono liberado de la quema *in situ* y fuera del bosque (kt C); **RE** = Relaciones de emisión de gases distintos del CO₂.

Las relaciones de emisión se obtuvieron del libro de trabajo (IPCC, 1996) y son de 0.012 para CH₄, 0.06 para CO, 0.007 para N₂O y de 0.121 para NO_x. Para calcular las emisiones distintas del CO₂, se realiza una conversión de acuerdo a las distintas relaciones de conversión que tiene cada tipo de gas.

$$\Delta Q = \Delta GD * RC \quad (17)$$

Donde:

ΔQ = Emisiones de la quema bosques (Gg CH₄, Gg CO, Gg N₂O, NO_x); **ΔGD** = Emisiones de gases distintos de CO₂ (Kt C); **RC** = Relación de conversión; CO (28/12), CH₄ (16/12) N₂O (44/28), NO_x (46/12)

4.3.4. Abandono de las áreas manejadas

En esta categoría se registran solo absorciones, ya que el abandono de áreas implica regeneración de la vegetación natural. Las tasas de regeneración de la vegetación disminuyen con el tiempo, es por eso que se consideran los periodos de los 20 años anteriores al del inventario y de 20 a 100 años atrás.

- **Paso 1:** Cálculo de la absorción anual de carbono en la biomasa aérea (tierras abandonadas en los últimos veinte años)

$$\nabla BA = (SA * TC) * CF \quad (18)$$

Donde:

∇BA = Absorción anual de carbono en la biomasa aérea (kt C); **SA** = Superficie total abandonada y en etapa de regeneración en los últimos 20 años (k ha); **TC** = Tasa anual

de crecimiento de la biomasa aérea ($t\ ms\ ha^{-1}$); CF = Fracción de carbono de la biomasa aérea.

Para realizar el cálculo de la superficie abandonada en los últimos 20 años, se compararon las superficies de vegetación de las cartas de USyV series II y IV de INEGI; los grupos de vegetación comparados fueron los mismos mostrados en el Cuadro 1. La tasa anual de crecimiento de la biomasa por regeneración natural se obtuvo del INEGI 2002 (SEMARNAT e INE, 2006) y se muestra en el Cuadro 2 (la información disponible solo es para ≤ 9 y > 9 años). El criterio tomado fue que si la superficie de vegetación aumentaba existía abandono de tierras, en cambio si la superficie disminuía, no se consideraban tierras abandonadas.

- **Paso 2:** Cálculo de la absorción anual de carbono en la biomasa aérea (tierras abandonadas durante más de veinte años)

$$\nabla BA_{>20} = (SA_{>20} * TC) * CF \quad (19)$$

Donde:

$\nabla BA_{>20}$ = Absorción anual de carbono en la biomasa aérea en tierras con más de 20 años de abandono ($kt\ C$); $SA_{>20}$ = Superficie total abandonada y en etapa de regeneración durante más de 20 años ($k\ ha$); TC = Tasa anual de crecimiento de la biomasa aérea ($t\ ms\ ha^{-1}$); CF = Fracción de carbono de la biomasa aérea.

Para el caso de las tierras abandonadas en más de 20 años se tomó como referencia las superficies de vegetación de las cartas de USyV series I y IV del INEGI, obteniendo la superficie de tierra abandonada siguiendo la lógica de comparación ya mencionada. La tasa anual de crecimiento se muestra en el Cuadro 2.

- **Paso 3:** Cálculo del total de las remociones de CO_2 en las tierras abandonadas

En este paso solo se suman los resultados obtenidos de las formulas 18 y 19, tal como lo indica la fórmula siguiente:

$$\nabla CTA = \nabla BA + \nabla BA_{>20} \quad (20)$$

Donde:

∇CTA = Absorción total de carbono de las tierras abandonadas (kt C); ∇BA = Absorción anual de carbono de la biomasa aérea en los primeros 20 años (kt C); $\nabla BA_{>20}$ = Absorción anual de carbono de la biomasa aérea durante más de 20 años (kt C).

4.3.5. Emisiones o absorción de CO₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra

- **Paso 1:** Estimación de la distribución de los sistemas de manejo y uso de la tierra por tipo de suelo (suelos minerales solamente) para las fases inicial y final del período de inventario

Para definir los sistemas de manejo, se emplearon las cartas de USyV (series II y IV) en formato digital de INEGI escala 1:250,000, para lo cual fue necesario hacer grupos de vegetación, como los que se muestran en el Cuadro 1. Posteriormente, se dividieron los usos de suelo en tipos de suelo, tomando como base la carta edafológica (serie II) (ver mapas en las Figuras 1A, 2A y 3A en anexos); para hacer esta división se realizó una agrupación de los suelos del estado, que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Grupos de suelo clasificados en el presente estudio.

Grupos de suelo	Descripción	Tipos de suelo por grupo
1	Suelos con arcillas de alta actividad (HAC)	Vertisol, Chernozem, Phaeozem, Luvisol, Solonchak, Kastañozem, Calcisol, Gipsisol, Solonetz, Umbrisol
2	Suelos con arcillas de baja actividad (LAC)	Acrisol, Cambisol*, Durisol
3	Suelos arenosos	Arenosol, Regosol, Fluvisol, Leptosol*

* fueron ubicados en el grupo 2 (Suelos con arcillas de baja actividad) en lugar del grupo 1 (Suelos con arcillas de alta actividad) ya que en el estado de Durango esos tipos de suelo son generalmente muy someros, de textura gruesa con muy baja proporción de arcillas expandibles (González-Barrios, 2000; SEMARNAT, 2007).

- **Paso 2:** Asignación del contenido de carbono por sistema de manejo y uso de la tierra y tipo de suelo

El valor de contenido de carbono de cada sistema de manejo se aplicó de acuerdo a los valores por defecto propuestos en el libro de trabajo de las directrices del IPCC. Para asignar este se clasificó al estado en región templada y región tropical, lo cual se realizó al clasificar la precipitación. Los valores por defecto utilizados se enlistan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Contenido de carbono en los grupos de suelo.

Grupos de suelo	CACOCVN* (Ton C)	
	Región templada	Región tropical
1	110	60
2	70	40
3	25	4

*Contenido aproximado de carbono en los suelos con vegetación natural

- **Paso 3:** Cálculo de las emisiones anuales netas de los suelos minerales

$$CSM = (CS_t * S_t) - (CS_{t-20} * S_{t-20}) \quad (21)$$

Donde:

CSM = Cambio neto en el carbono en los suelos minerales (Tg durante 20 años); **CS_t** = Carbono en los suelos (Mg C ha⁻¹); **S_t** = Superficie de tierras para el año del inventario (Mha); **S_{t-20}** = Superficie de tierras 20 años antes del inventario (Mha).

Para calcular las superficies de los sistemas de manejo en el año del inventario se utilizó la carta de USyV serie IV (2010), mientras que para calcular la superficie de 20 años antes, se empleó la carta de USyV serie II (1993). El contenido de carbono se tomó a partir de los valores por defecto enlistados en el Cuadro 4, los cuales se obtuvieron a partir del libro de trabajo (IPCC, 1996).

○ **Paso 6:** Estimación del total de emisiones netas de los suelos

Se omitieron los pasos 4 y 5 que vienen dictados originalmente en el software del IPCC debido a que estos se refieren a suelos orgánicos y a abonados con cal, y de acuerdo al INEGI 2002, los suelos orgánicos no existen en México, por otro lado en el estado de Durango no se aplica cal a los suelos.

En este paso solo se multiplica el cambio en el contenido de carbono cuantificado con la ecuación 21 por el factor de conversión para transformarlo a CO₂.

$$\Delta SM = (CSM * -50) * 44/12 \quad (22)$$

Donde:

ΔSM = Total anual de emisiones en suelos minerales (Gg); CSM = Cambio neto en el carbono en los suelos minerales (Tg durante 20 años).

4.4. Cálculo de incertidumbre

El porcentaje de incertidumbre se calculó para cada subcategoría y para toda la categoría de USCUSyS, con las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ de incertidumbre} = \frac{\frac{1}{2}(4\sigma)}{\mu} (100) \quad (23)$$

Donde:

σ = desviación estándar; μ = media de la distribución

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (24)$$

Donde:

U_{total} = Incertidumbre porcentual en el producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza de 95% dividida entre el total); U_i = Incertidumbres porcentuales asociadas con cada una de las cantidades.

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{x_1 + x_2 + \dots + x_n} \quad (25)$$

Donde: U_{total} = Incertidumbre porcentual en la suma de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza del 95% dividido entre el total; X_i = Cantidades inciertas y U_i = Incertidumbres porcentuales asociadas con ellas.

4.4.1. Cambios de biomasa en bosques y en otros tipos de vegetación leñosa

Las incertidumbres para la absorción y captura de carbono se obtuvieron al aplicar las fórmulas 23 y 24, mientras que para obtener la incertidumbre total de la categoría se empleó la ecuación 25. Las incertidumbres de los valores por defecto se obtuvieron del libro de trabajo (IPCC, 1996) y de la guía de las buenas prácticas (IPCC, 1996).

4.4.2. Emisiones de CO₂ procedentes de la conversión de bosques y praderas

El porcentaje de incertidumbre de la liberación de C por descomposición y quema se calculó con las ecuaciones 23 y 24, en lo que se refiere a la incertidumbre total de la categoría, se obtuvo al aplicar la fórmula 25. La incertidumbre de los valores por defecto que se emplearon se consiguió del INEGI 2002 (SEMARNAT e INE, 2006) y la guía de las buenas prácticas de IPCC (2003).

4.4.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal

En el cálculo de las incertidumbres de las emisiones de gases distintos al CO₂ solo se emplearon las ecuaciones 23 y 24 no se consideraron las incertidumbres correspondientes a la fracción oxidada *in situ*, relación N:C y las relaciones de emisión de gases distintos del CO₂. La incertidumbre de los valores por defecto se obtuvo del

INEGEI 2002 (SEMARNAT e INE, 2006) y la guía de las buenas prácticas de IPCC (2003).

4.4.4. Abandono de tierras cultivadas

Se determinó la incertidumbre de la absorción de C de la vegetación de tierras abandonadas en los primeros 20 y con más de 20 años atrás de abandono a partir del año del inventario, utilizando la ecuación 23 y 24, así mismo, la determinación de la incertidumbre total de esta categoría se realizó con la ecuación 25. El valor de incertidumbre de los datos por defecto se obtuvo del INEGEI 2002 (SEMARNAT e INE, 2006), el libro de trabajo (IPCC, 1996) y la guía de las buenas prácticas de IPCC (2003).

4.4.5. Emisiones o absorción de CO₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra

Se calculó la incertidumbre del contenido de carbono del suelo en el año del inventario y 20 años antes con las fórmulas 23 y 24, así mismo, la incertidumbre total de la categoría con la ecuación 25. En lo que respecta a la incertidumbre de los valores por defecto empleados para el cálculo de emisiones, estos se encontraron en la guía de las buenas prácticas de IPCC (2003).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Cambios de biomasa en bosques y en otros tipos de vegetación leñosa

Con base en los cálculos realizados, se estimó una absorción de C de 1,301.27 kt, siendo el grupo de vegetación “matorral xerófilo” el que absorbió mayor cantidad con 675.68 kt de C (ver Figura 7 y Cuadro 5); por otro lado, en esta subcategoría también se estimó una emisión de 1,256.84 kt de C, lo cual, al realizar el balance resulta una absorción de 44.43 kt de C, o bien 162.92 Gg de CO₂ (Figura 8).

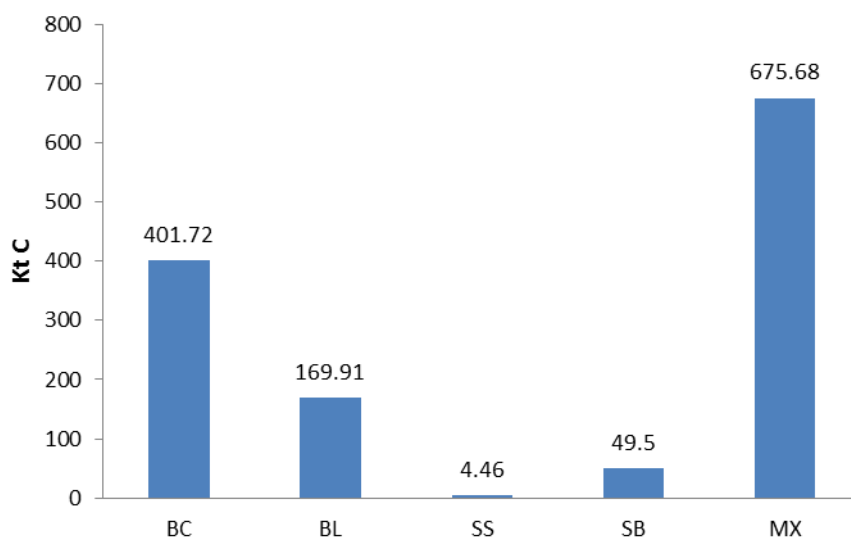


Figura 7. Absorción de C por tipo de vegetación.

(BC= Bosque de coníferas; BL= Bosque de latifoliadas; SS= Selva subcaducifolia; SB= Selva baja; MX= Matorral xerófilo)

Cuadro 5. Superficies y absorción de C por grupo de vegetación.

Grupo de vegetación	Superficie (kha)	Absorción de carbono (kt C)
1 Bosque de coníferas	618.034	401.72
2 Bosque latifoliadas	261.403	169.91
3 Selva subcaducifolia	4.462	4.46
4 Selva baja	98.999	49.50
5 Matorral xerófilo	2,702.723	675.68
TOTAL		1,301.27

Comparando los resultados anteriores con los del inventario nacional realizado para el periodo 1990-2002 (SEMARNAT e INE, 2002), el estado de Durango capturó el 0.9% del CO₂ emitido en esta misma subcategoría. Las incertidumbres de los resultados comparados anteriormente, son del 78.68% a nivel estatal y del 259% a nivel nacional (ver Cuadro 6A de anexos).

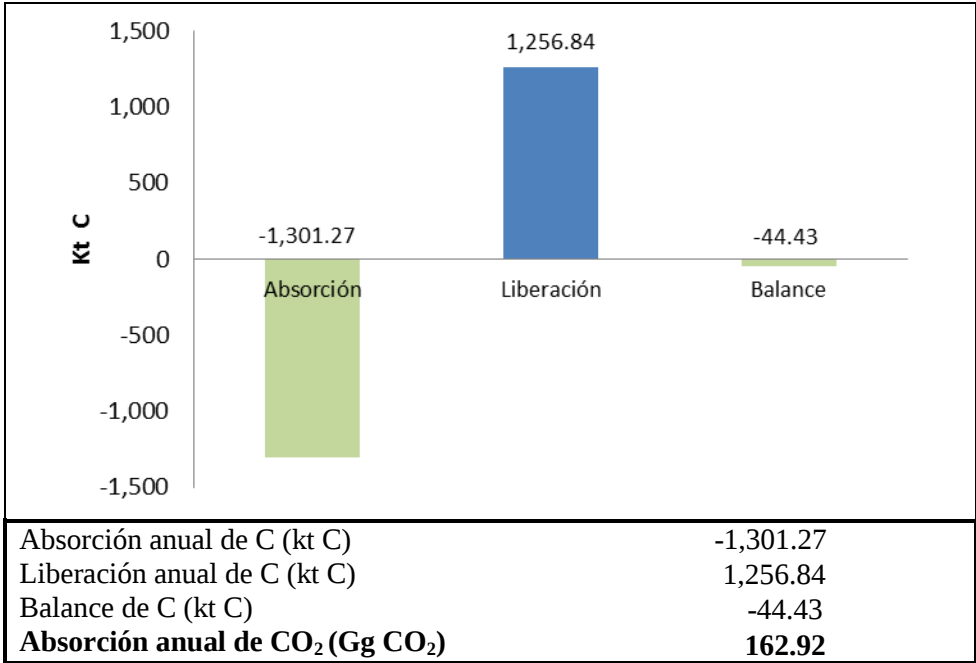


Figura 8. Absorción y emisión de C debido a cambios en la biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa.

5.2. Emisiones de CO₂ procedentes de la conversión de bosques y pastizales

Por concepto de conversión de bosques y praderas se liberaron 13,629.82 Gg de CO₂ que corresponden a 3,717.22 kt de C, de las cuales, 2,735.49 kt se derivan de la combustión de biomasa y 1,143.73 kt a la descomposición (Figura 9). El grupo de vegetación que emitió mayor cantidad de C debido a quema y a descomposición fue el bosque de coníferas, con una emisión de 2,156.09 y 958.23 kt, respectivamente (ver Cuadro 6).

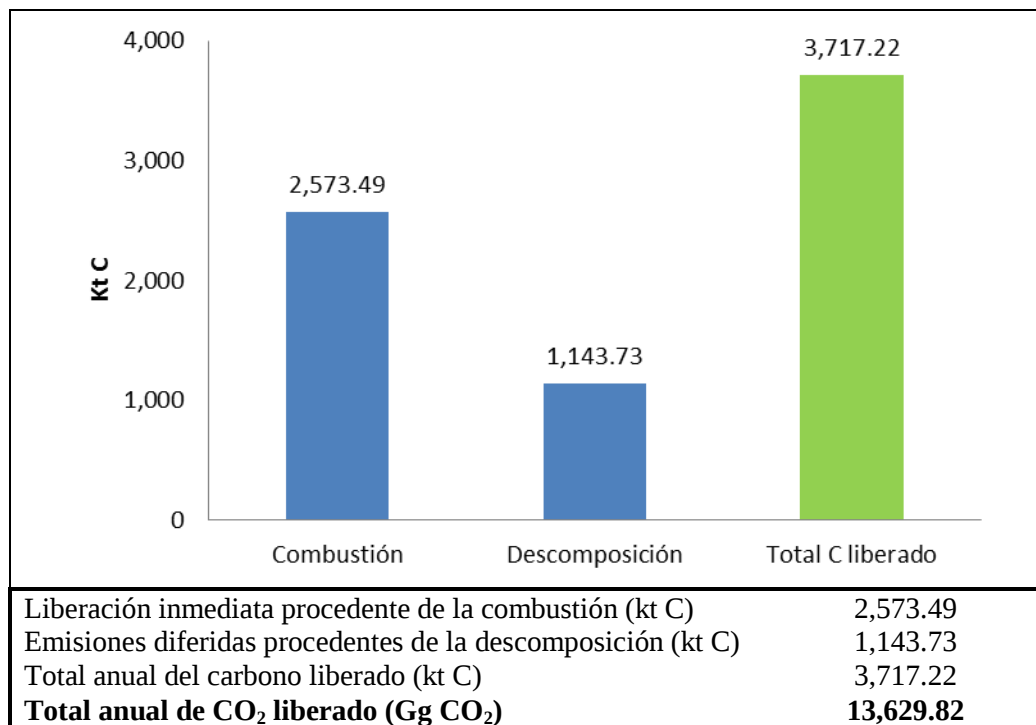


Figura 9. Liberación de C debido a combustión y descomposición de la biomasa procedentes de la conversión de bosques y praderas.

Cuadro 6. Superficie convertida y liberación de C debido a quema y descomposición de la biomasa.

Grupo de vegetación	A	B	C	D
1 Bosque de coníferas	-73.94	-59.15	2,156.09	958.23
2 Bosque latifoliadas	0	0		
3 Selva subcaducifolia	-4.34	-3.47	140.03	62.20
4 Selva baja	0	0		
5 Matorral xerófilo	-31.13	-24.91	277.37	123.30
6 Pastizal	0	0		
TOTAL			2,573.49	1,143.73

Los resultados obtenidos en la presente categoría revelan que el estado de Durango contribuye con el 21.13% de las emisiones totales reportadas a nivel nacional en el periodo 1990-2002, que fueron de 64,483.80 Gg de CO₂ anualmente. Es importante resaltar, que las incertidumbres de los resultados comparados anteriormente, son del 12% a nivel nacional, y del 70.91% a nivel estatal (ver Cuadro 5A de anexos).

5.3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal

Por concepto de la quema *in situ* de bosques se emitieron anualmente en el periodo de estudio 20.59 Gg de CH₄, 180.14 Gg de CO, 0.14 Gg de N₂O y 5.12 Gg de NO_x (Figura 10).

En el Cuadro 7 se muestra una comparación entre las emisiones de gases traza del estado y las emisiones del país, se puede observar que, en general, el estado de Durango aporta del 14 al 16% de las emisiones de gases distintos al CO₂, del total emitidos a nivel nacional.

Es importante señalar también, que incluso las incertidumbres a nivel estatal y nacional son similares con 73.17% (ver Cuadro 6A de anexos) y 70%, respectivamente.

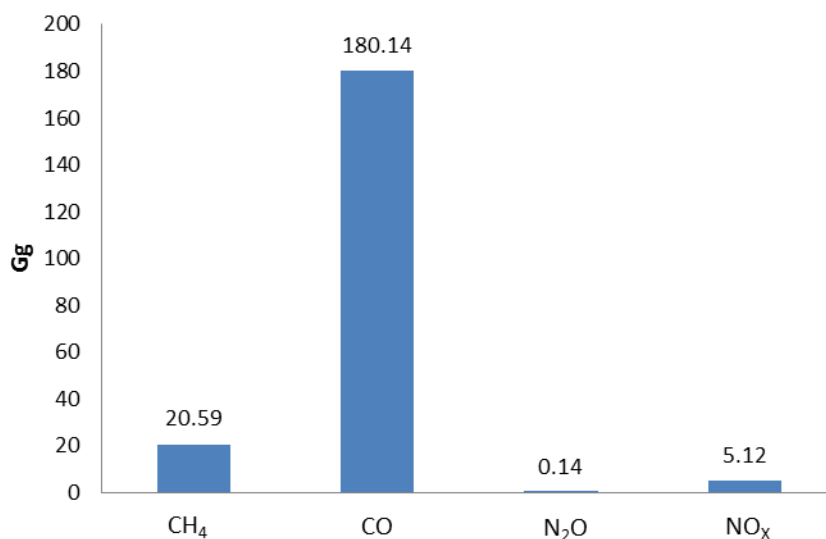


Figura 10. Emisiones de gases distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de biomasa forestal.

En el Cuadro 8 se muestra que Durango presenta emisiones similares de CH₄ con el estado de Nuevo León, pero son muy diferentes en lo que se refiere a los demás GEI, así mismo, se pueden notar divergencias marcadas en comparación con Guanajuato.

Cuadro 7. Comparación de gases distintos al CO₂ emitidos por el estado de Durango con las emisiones a nivel nacional.

Gas (Gg)	Durango	Nacional (1990-2002)	% de contribución nacional	Incertidumbre estatal (%)	Incertidumbre nacional (%)
CH ₄	20.59	127.00	16.21	73.17	70
CO	180.14	1,113.00	16.18		
N ₂ O	0.14	1.00	14.00		
NO _x	5.12	32.00	16.00		

Cuadro 8. Comparación de incertidumbres y emisiones de gases traza de algunos Inventarios Estatales de GEI.

IEGEI	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	% de incertidumbre
Durango	20.59	0.14	180.14	5.12	73.17
Guanajuato	0.86	0.01	7.5	0.21	---
Nuevo León	23.78	1.38	0.0002	0.000005	---

Fuente: (IEGEI Guanajuato, 2005; ITSM, 2010).

5.4. Abandono de tierras cultivadas

Debido al abandono de tierras, se estimó para el estado de Durango una captura de CO₂ de 1,597.26 Gg al año, lo anterior corresponde a 435.62 kt de C, que se capturaron mayormente por tierras con más de 20 años de abandono (ver Figura 11). En los primeros 20 años de abandono, se capturaron 10.95 kt de C debido a 19.9 ha de selva subcaducifolia abandonada y 20.52 kt de C en selva baja; en lo que se refiere tierras abandonadas en más de 20 años, se retuvieron en total 404.16 kt de C, de los cuales, el grupo de vegetación que tuvo la mayor contribución, fue el pastizal, al retener 186.72 kt de C (Cuadro 9).

De acuerdo a los resultados anteriores, el estado de Durango contribuye con el 12.39% de las emisiones totales a nivel nacional. Es importante destacar que la incertidumbre para el valor de captura de C de Durango es del 90.04% (Cuadro 10A de anexos) y la de nivel nacional es de 35.8%.

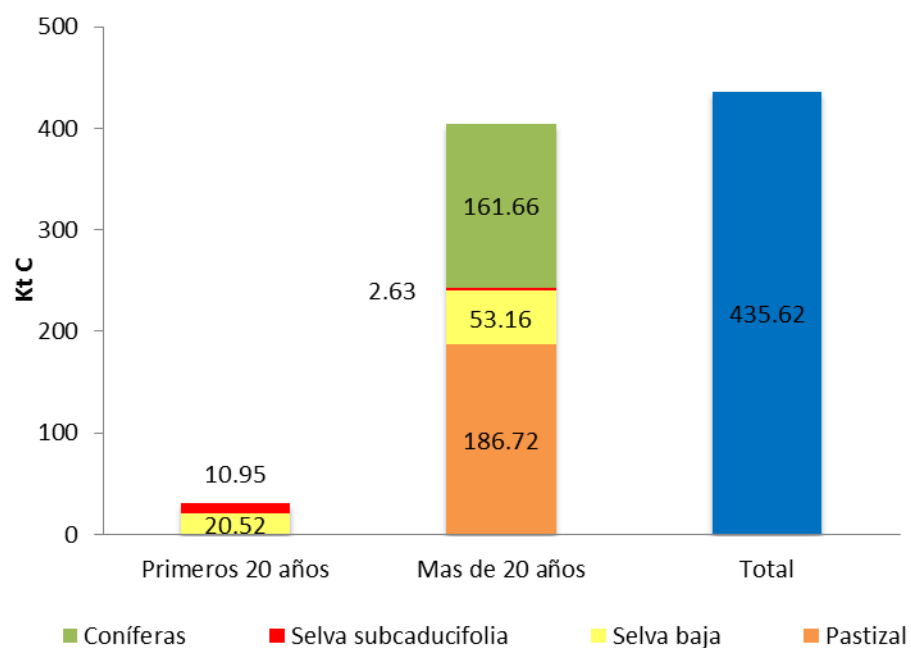


Figura 11. Captura de C por tierras con 20 y más años de abandono.

Cuadro 9. Captura de C en los primeros 20 años y más de 20 años atrás del año del inventario.

	Abandono en los primeros 20 años (kha)	Captura anual de C (kt C)	Abandono a más de 20 años (kha)	Captura anual de C (kt C)
Bosque de coníferas			248.7	161.66
Bosque latifoliadas				
Selva subcaducifolia	19.9	10.95	20.2	2.63
Selva baja	37.3	20.52	408.9	53.16
Matorral xerófilo				
Pastizal			704.6	186.72
TOTAL		31.46		404.16

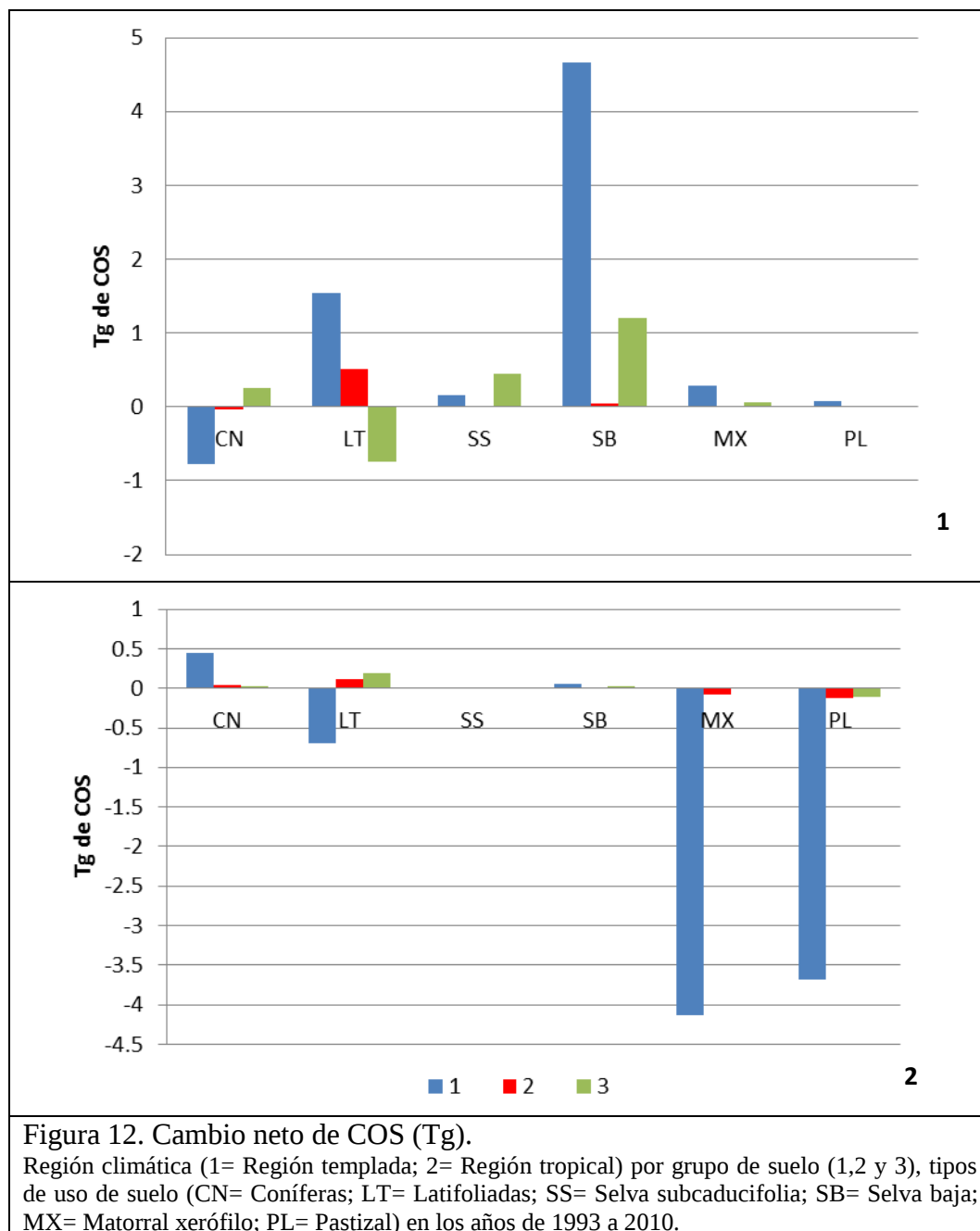
5.5. Emisiones o absorción de CO₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra

El tipo de suelo que presentó la mayor pérdida de COS en el periodo de estudio fue el 1, con -217 Tg, mientras que el grupo 3 fue el que tuvo una ganancia mayor con 1.35 Tg; finalmente, se obtuvo una pérdida de COS total de -0.35 Tg, lo que equivale a una emisión de 63.44 Gg de CO₂ (Cuadro 10). En cuanto al comportamiento del COS de acuerdo a las regiones climáticas, los que mostraron los mayores y menores cambios en la región templada, fueron la selva baja y coníferas, respectivamente, ambos en suelos tipo 1, en lo que se refiere a la región tropical, los mayores y menores cambios se presentaron en los usos de suelo coníferas y matorral xerófilo, respectivamente, y también sobre suelos tipo 1 (Figura 12 y Cuadro 3A de anexos).

Cuadro 10. Resumen del contenido de COS y emisiones de C y CO₂ por grupo de suelo (las dos regiones climáticas y todos los usos de suelo).

Grupo de suelo	COS 1993 (Tg)	COS 2010 (Tg)	Cambio neto (Tg)	Gg C	Gg CO ₂
1	371.90	369.73	-2.17		
2	34.12	34.60	0.48		
3	66.72	68.07	1.35	17.30	63.44
TOTAL	---	---	-0.35		

Las emisiones de CO₂ en el estado de Durango, en cuanto a suelos minerales, representan un 0.20% del total de emisiones a nivel nacional (30,277 Gg de CO₂); por otro lado, se debe de tomar en cuenta la incertidumbre de ambos valores, que es del 95% (Cuadro 8A de anexos) para Durango, y del 109% para el valor calculado en el INEGI 2002 (SEMARNAT E INE, 2002).



5.6. Resumen de resultados

Como balance general de las categorías emisoras de CO₂, el estado emitió anualmente 9,779.90 Gg de CO₂ (Cuadro 11 y Figura 13), en cuanto a las emisiones de gases distintos al CO₂ ya se han abordado en la categoría de “Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal”.

Haciendo una comparación entre las emisiones estatales y las nacionales, Durango contribuye con el 13.73% de lo emitido a nivel nacional, con una incertidumbre del 56.45% (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comportamiento del CO₂ y porcentaje de incertidumbre en las subcategorías USCUSyS.

Categoría	Gg de CO ₂	% de incertidumbre
CB	-162.92	78.68
CV	13,629.82	70.91
Q	---	73.17
TA	-1,597.26	90.04
S	63.44	95.00
Balance	9,779.90	56.45

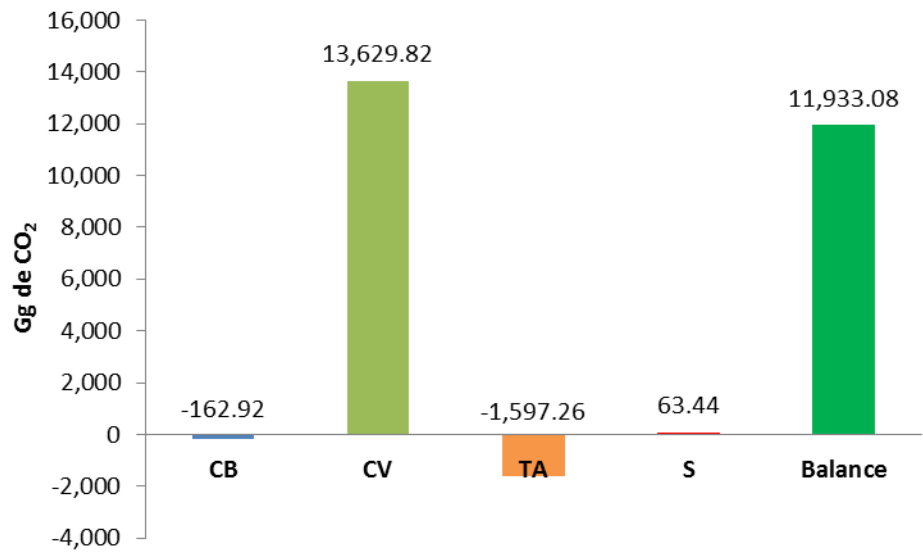


Figura 13. Comportamiento del CO₂ en las categorías inventariadas y balance final del USCUSyS.

El resultado anterior difiere grandemente con el del estado de Chihuahua que podría decirse es el más parecido a Durango en cuanto a tipo de vegetación y ubicación. Al respecto, Chihuahua es captor de una considerable cantidad de CO₂ y Durango por el

contrario resulta gran emisor. Al observar el resto de los estados, Chiapas es el que presenta mayor similitud con el nuestro (Cuadro 12).

Otro de los aspectos a comparar es la incertidumbre, al respecto, observamos que los inventarios de Durango y Chiapas presentan incertidumbres similares.

Las diferencias citadas en los dos párrafos anteriores pueden deberse a incertidumbres en las bases de datos usadas por los distintos estados.

Cuadro 12. Comparación del flujo de CO₂ e incertidumbres de algunos Inventarios Estatales de GEI en la categoría USCUSyS.

IEGEI	Gg de CO₂	% de incertidumbre
Durango	11,933.08	56.45
Chihuahua	-8,370.00	---
Coahuila	-470.00	---
Nuevo León	2,269.46	---
Guanajuato	827.00	117.56
Chiapas	16,477.00	44.29

Fuente: (Chacón *et al.*, 2010; PROFAUNA, 2010; ITSM, 2010; IEGEI Guanajuato 2005; IEGEI Chiapas, 2011).

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos, se concluye que debido al Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, el estado de Durango es emisor de CO₂, al contribuir con el 13.73% de las emisiones totales a nivel nacional. Así mismo, respecto a gases distintos al CO₂, el estado contribuye con el 16.21% de CH₄, el 16.18% de CO, el 14% de N₂O y el 16% de NO_x del total emitido en el país.

Se considera que la subcategoría más importante (subcategoría clave) es la de conversión de bosques y praderas, pues contribuyó con la mayor emisión de CO₂ a la atmósfera. Por otro lado, la subcategoría de manejo y cambio de uso de suelo, es la que presentó mayor incertidumbre en el cálculo.

Es importante mencionar, que los resultados obtenidos en el presente trabajo, tienen distintas incertidumbres, debidas a diversos factores, por lo que se recomienda usar lo menos posible valores por defecto y generar datos propios del estado, así como, adaptar la metodología empleada de acuerdo a las bases de datos existentes.

VII. LITERATURA CITADA

- Alanís-Rodríguez E., J. Jiménez-Pérez, D. Espinoza-Vizcarra, E. Jurado-Ybarra, O. A. Aguirre-Calderón, M. A. González-Tagle. 2008.** Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el parque ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14(2): 113-118.
- Arhens, C. D. 1994.** *Meteorology today: An introduction to weather, climate, and the environment*. 5th edition. Thomson Books/cole. Belmont, USA. 544 p.
- Camou G. A. 2007.** La leña: el recurso olvidado. Una experiencia de participación social y cambio tecnológico en dos microregiones de la Sierra Tarahumara. CONSULTORÍA TÉCNICA COMUNIARIA A.C. Chihuahua, Chih. México. Fecha de acceso: 22/11/2010. Disponible en: <http://www.kwira.org/blog/librolena.pdf>
- CEDAN, ITSM e INE. 2010.** Elementos técnicos para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. Curso en línea. Centro de Diálogo y Análisis sobre América del Norte. Instituto Tecnológico de Monterrey. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Chacón, A. D., Giner, M.E., Vázquez, V. M., Roe, M. S., Lindquist, H., Strode, B., Anderson, R., Quiroz, C., Schreiber, J. 2010.** Emisiones de gases de efecto invernadero en Chihuahua y proyecciones de casos de referencia 1990-2025. COCEF. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. The center for climate strategies. Ciudad Juárez, Chihuahua.
- CONABIO. 2008.** División política estatal, versión 2 Escala 1:250000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- CONAZA y UACH. 2004.** Escenarios climatológicos de la república mexicana ante el cambio climático. Tomo I. Comisión Nacional de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo.
- DOE, 2008.** Ciclo del Carbono y biosecuestro: Reporte de Marzo 2008, DOE/SC-108, U.S. Department of Energy Office of Science. (p. 2-3). Fecha de acceso: 4/02/2012. Disponible en: <http://genomicscience.energy.gov/carboncycle/report/#page=news>

- Elvira, Q.J. 2006.** El cambio de uso de suelos y sus repercusiones en la atmósfera. Libro: Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. Compiladores: Urbina, S. J. y Martínez, F. J. Primera Edición. Instituto Nacional de Ecología. México. Pp. 191-193.
- EPA. 2010.** Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Source. United States Environmental Protection Agency. Office of Atmospheric Programs. Washington, DC. Fecha de acceso: 7/09/2011. Disponible en: <http://www.epa.gov/outreach/pdfs/Methane-and-Nitrous-Oxide-Emissions-From-Natural-Sources.pdf>
- FAO. 1998.** Terms and Definitions. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 1. Fecha de acceso: 3/10/2011. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/cpf/definitions/en/>
- FAO. 2002.** Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 96. Roma, Italia. 61 p.
- Garduño, R. 2004.** ¿Qué es el efecto invernadero? Libro: Cambio Climático, una visión desde México. Julia M. y Adrián F. B. (compiladores). Primera Edición. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F. pp. 29-39.
- Genthon, G., Barnola, J. M., Raynaud, D., Lorius, C., Jouzel, J., Barkov, N. I., Korotkevich, Y. S., y Kotlyakov, V.M. 1987.** Vostok ice core: climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climatic cycle. *Nature*, 329: 414-418.
- Goodess, C. M., Palutikof, J. Davies T. D. 1992.** The nature and causes of climate change: Assessing and long term future. Belhaven press. London. 272 p.
- González M. Z. 2008.** Estimación de la biomasa aérea y de la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. Ochoterena Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 81 p.

- GreenFacts. 2002.** Cambio climático: Resumen del informe de evaluación 2007 del IPCC. Fecha de acceso: 27/04/2011. Disponible en: <http://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico-ie4/climate-change-ar4-foldout-es.pdf>
- Houghton J. T., Jenkins G. J., y Ephraums, J. J. 1992.** Climate Change 1992: The supplementary report to the IPCC scientific Assessment. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Press Syndicate of the University of Cambridge. Gran Bretaña. 199 p.
- IEGEI Chiapas. 2011.** Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero. UNICACH, CIGERCC, ECOSUR, COLPOS, ITTG, UNAM, CCA, SEMAVIHN, SEMARNAT, CI. pp. 50-55
- IEGEI Guanajuato. 2005.** Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Guanajuato. SDA, CONAFOR, SEMARNAT, UG, CIECO UNAM, CIEE, COCYTEG, INIFAP, CEAG, CONAGUA CENITED, INE, IEE. Guanajuato, México. pp. 78-81
- INE. 2011.** Avances de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. Fecha de acceso: 08/04/2011. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/>
- INEGI. 2003.** Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie III Escala 1:250000 en formato digital. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. 2007.** Carta Edafológica Serie II Escala 1:250000 en formato digital. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. 2009.** Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie IV Escala 1:250000 en formato digital. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPCC. 1996.** Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo. Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- IPCC. 2001.** Manual de Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

- IPCC. 2003.** Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- IPCC. 2007.** Informe del Grupo de Trabajo I - Base de las Ciencias Físicas. Fecha de acceso: 15/04/2011. Disponible en: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tssts-2-5.html
- IPCC. 2011.** Sobre nosotros. Fecha de acceso: 3/05/2011. Disponible en: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml#1
- ITSM. 2010.** Programa de acción ante el cambio climático para el estado de Nuevo León. Centro de calidad ambiental. Tecnológico de Monterrey - Campus Monterrey. Monterrey, N. L. p. 17
- Levine, S.J. 1994.** Biomass burning and the production of greenhouse gases. Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change. John Wiley and Sons, Inc. Fecha de acceso: 21/05/2011. Disponible en: http://asdwwww.larc.nasa.gov/biomass_burn/biomass.html
- López, D., Soto, L., Jiménez, G., Hernández, S. 2003.** Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmifolia* en dos comunidades del norte de Chiapas, México. Interciencia 28(006):334-339.
- MacGregor, G. R. y Nieuwolt, S. 1998.** Tropical climatology: an introduction to the climate of low latitudes. Second edition. Jhon Wiley and Sons, Inc. England. 352 p.
- Madrid, L. y Barrera, J. M. 2008.** El aprovechamiento forestal en Durango. CCMSS. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. Fecha de acceso: 21/05/2011. Disponible en: http://www.ccmss.org.mx/descargas/sintesis_durango5.pdf
- Manso, J.R. 2003.** Emisiones de gases y partículas producto de los incendios forestales en Cuba entre 1989 y 1999. Sitio Argentino de Producción Animal. Fecha de acceso: 21/05/2011. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/incendios_y_uso_del_fuego/41-gases.pdf
- Masera, O., Díaz, R., Berrueta, V. 2004.** Programa para el uso sustentable de la leña en México: de la construcción de estufas a la apropiación de tecnología. Fecha de

acceso: 5/02/2012. Disponible en:

<http://www.conanp.gob.mx/dcei/entorno/images/agos206/pdf24/intprogr6088c.pdf>

- Návar, J.,** González, N. y Graciano, J. 2001. Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones forestales de Durango, México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.
- PNUD y FMAM. 2009.** Manejo del proceso de elaboración del inventario nacional de gases de efecto invernadero. Unidad de Apoyo a las Comunicaciones Nacionales. Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Grupo de Energía y Medio Ambiente. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Nueva York, E.U.A. 105 p
- PNUMA. 2005.** Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Inter-Organization Programme for the sound management of chemicals. Ginebra. 42 p.
- PROFAUNA. 2010.** Resultado de inventario de gases efecto invernadero, componente de vulnerabilidad y amenazas. Plan estatal de cambio climático para Coahuila de Zaragoza. Protección de la Fauna Mexicana, A.C. pp. 39-45
- SEMARNAP. 1997.** México, Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Primera edición. México, D.F. 150 p.
- SEMARNAT. 2011.** Módulo de consulta temática. Incendios forestales: Superficie afectada por tipo de vegetación (hectáreas). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Fecha de consulta: 16/09/2011 Disponible en:
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RFORESTA05_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- SEMARNAT e INE. 2001.** 2º Comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. 376 p.
- SEMARNAT e INE. 2002.** Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 310 p.

- SEMARNAT e INE. 2006.** México tercera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 254 p.
- SEMARNAT e INE. 2009.** Cuarta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Primera edición. México, D.F. 274 p
- Serrato, G. E. 2002.** Contribución al conocimiento del México forestal. Notas, Revista de información y análisis 22. Datos, Hechos y Lugares. pp 7-14.
- Valenzuela, D. 2004.** El cambio climático global: amenazas y respuesta política. CORDELIM. Promoción del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Fecha de consulta: 16/09/2011. Disponible en:
http://cd4cdm.org/Latin%20America/Ecuador/Training%20Workshop%20-%20Reforestation%20and%20Bioenergy/docs/lunes/lu_1_introd_ccword.pdf
- Velázquez, A., Mas, J.F., Díaz-Gallegos, J.R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P.C., Castro, R., Fernández, T. Bocco, G., Ezcurra, E., Palacio, J.L. 2002.** Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica. No. 062. Instituto Nacional de Ecología, México D.F. pp. 21-37.
- Vallejo, A., Rodríguez, P., Martínez, C., Hernández, P., de Jong, B. 2007.** Guía para el diseño de proyectos MDL forestal y de bioenergía. CATIE. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 253 p.
- Weihermüller, L. Lamers, M., Reichstein, M. 2011.** Introduction to production, transport, and emission of trace gases from the vadose zone to the atmosphere. Vadose Zone Journal. Vol. 10 pp 151-155
- WRI. 2009.** World Greenhouse Gas Emissions in 2005 por Tim Herzo. Fecha de consulta: 6/09/2011. Disponible en:
http://pdf.wri.org/working_papers/world_greenhouse_gas_emissions_2005.pdf

VII. ANEXOS

Cuadro 1A. Homologación de vegetación de 4 series de la carta de USyV de INEGI con los grupos de vegetación propuestos en el INEGI y el IPCC.

IPCC		INEGI 2009	INEGI 2006	USyV I	USyV II	USyV III	USyV IV
BOSQUES TEMPLADOS	Siempreverdes	Bosque de coníferas	Bosque de Coníferas	Bosque de pino Bosque de coníferas distintas a Pinus	Bosque de pino Bosque de pino-encino Bosque de Táscate Bosque de Oyamel Bosque de Ayarín	Bosque de Pino Bosque de Pino-Encino Bosque de Táscate Bosque bajo abierto Bosque de Oyamel	Bosque de coníferas
	Desciduos	Bosque de encino	Bosque Latifoliadas	Bosque de encino	Bosque de encino Bosque de encino-pino Bosque mesofilo de montaña	Encino Bosque de encino-pino	Bosque de Encino Bosque mesofilo Bosque cultivado
		Bosque mesofilo de montaña					
		Bosque cultivado					
BOSQUES TROPICALES	Húmedos	Selva subcaducifolia	Selva Alta y Mediana Matorral	Selva mediana subcaducifolia y caducifolia	Selva mediana subcaducifolia	Selva mediana subcaducifolia Matorral subtropical	Selva subcaducifolia
	Estacionales	Selva espinosa	Selva baja		Mezquital	Selva baja espinosa Mezquital	
		Selva caducifolia		Selva baja caducifolia y subcaducifolia	Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia	Selva caducifolia
	Secos	Matorral Xerofilo	Matorral	Matorral espinoso tamaulipeco, submontano y subtropical Matorral sarcocrasicaule Matorral desertico microfilo Matorral rosetofilo Chaparral Vegetación gipsófila y halofila Mezquital-huizachal Vegetación de suelos arenosos	Matorral submontano Matorral crasicaule Matorral desertico microfilo Matorral rosetofilo Chaparral Vegetación halofila Vegetación gipsófila Vegetación de desiertos arenosos	Matorral submontano Matorral crasicaule Matorral desertico microfilo Matorral desertico rosetofilo Matorral sarcocrasicaule Chaparral Vegetación gipsófila Vegetación halofila Vegetación de desiertos arenosos	Matorral Xerofilo A Matorral Xerofilo S
	Pastizal	Pastizal	Pastizal	Pastizal natural	Pastizal halofilo Pastizal natural	Pastizal halofilo Pastizal natural Pastizal-huizachal	Pastizal
		Pecuario			Pastizal inducido	Pastizal cultivado-agricultura de temporal Pastizal inducido Pastizal inducido, agricultura de temporal Pastizal inducido, vegetación secundaria de selva baja caducifolia	Vegetación inducida 2
		Vegetación inducida					
OTROS USOS		Agrícola	IAPF	Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones)	Manejo agrícola, pecuario y forestal	Agricultura de riego Agricultura de riego suspendido Agricultura de riego eventual Agricultura de temporal Agricultura de temporal, pastizal inducido	IAPF
		Vegetación hidrofila		Vegetación de galería Popal y tular	Vegetación de galería Tular		Vegetación hidrofila 2 Vegetación hidrofila Otros tipos
		Otros tipos					
		Otros conceptos		Ciudades importantes Área sin vegetación aparente Cuerpos de agua	Sin vegetación aparente Cuerpo de agua No aplicable	Área urbana Cuerpo de agua perenne interior	Otros Conceptos Agua

Cuadro 2A. Procedimiento de cálculo de las superficies con manejo forestal en el estado de Durango.

Grupos de vegetación (serie IV)		Superficie existente (ha)	%	Superficie manejada (ha)
Coníferas	Bosque de coníferas			
	Bosque cultivado	3,633,056.45	62.94	617,619.60
Latifoliadas	Bosque de encino			
	Bosque mesófilo	1,532,327.65	26.54	260,495.70
Selva subcaducifolia		26,217.22	0.45	4,456.93
Selva caducifolia		581,076.25	10.07	98,782.96
TOTAL BOSQUES Y SELVAS		5,772,677.57	100.00	981,355.19
		17%		981,355.19

PROCEDIMIENTO:

Según Madrid y Barrera (2008), la superficie con plan de manejo forestal es el 17% de la superficie total existente de bosques y selvas. Considerando lo anterior se realizó lo siguiente:

1. Se sumó la superficie de los bosques y selvas de la carta de USyV serie IV de INEGI.
2. Se obtuvo el 17% de la superficie antes sumada.
3. El valor obtenido se consideró como el 100% para calcular el valor porcentual correspondiente a la superficie de cada tipo de bosque.
4. Se obtuvo la superficie de vegetación con manejo forestal.

Cuadro 3A. Cambio neto de COS en el estado de Durango.

Tipo de vegetación		Grupo de suelo	COS 1993	COS 2010	Cambio neto
Región templada	Coníferas	1	132.63	131.86	-0.77
		2	19.91	19.87	-0.04
		3	32.69	32.95	0.26
	Latifoliadas	1	30.05	31.61	1.55
		2	4.78	5.28	0.51
		3	14.41	13.66	-0.75
	Selva subcaducifolia	1	0.37	0.53	0.16
		2	0.03	0.05	0.02
		3	0.06	0.51	0.44
	Selva baja	1	16.28	20.95	4.67
		2	1.21	1.26	0.05
		3	6.72	7.93	1.21
	Matorral xerófilo	1	0.01	0.29	0.28
		2	0.00	0.00	0.00
		3	0.00	0.06	0.06
	Pastizal	1	0.96	1.04	0.08
		2	0.07	0.08	0.00
		3	0.08	0.09	0.01
	Vegetación hidrófila	1	0.00	0.00	0.00

		2	0.00	0.00	0.00
		3	0.00	0.02	0.02
Región tropical	Coníferas	1	20.28	20.72	0.44
		2	2.53	2.57	0.04
		3	2.00	2.02	0.02
	Latifoliadas	1	15.04	14.35	-0.69
		2	0.38	0.49	0.11
		3	1.43	1.62	0.19
	Selva subcaducifolia	1	0.00	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	0.00
		3	0.00	0.00	0.00
	Selva baja	1	0.67	0.72	0.06
		2	0.00	0.00	0.00
		3	0.20	0.22	0.02
	Matorral xerófilo	1	81.12	76.99	-4.14
		2	2.37	2.29	-0.08
		3	5.61	5.62	0.01
	Pastizal	1	74.31	70.62	-3.69
		2	2.84	2.72	-0.12
		3	3.48	3.37	-0.11
	Vegetación hidrófila	1	0.18	0.05	-0.13
		2	0.01	0.00	-0.01
		3	0.03	0.00	-0.03
	TOTAL	1	371.90	369.73	-2.17
		2	34.12	34.60	0.48
		3	66.72	68.07	1.35
TOTAL					-0.35
EMISIÓN TOTAL ANUAL DE CARBONO (Gg)					17.30
EMISIÓN TOTAL ANUAL DE CO ₂ (Gg)					63.44

Cuadro 4A. Cálculo de incertidumbre para la subcategoría de cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa.

Cálculos de incertidumbre de absorción de carbono						
Cálculos de superficie		Cálculos tasa de incremento anual				
Carta de INEGI	Superficie (ha)	Grupo de vegetación	V*	D*	FEB*	Total
USyV SI	12,329,818.83	Coníferas	30	10	20	37.53 ^b
USyV SII	12,335,780.70	Latifoliadas	40	10	20	45.92 ^b
USyV SIII	12,344,716.96	S. subcaducifolia	50			50
USyV SIV	12,345,161.27	Selva baja	50			50
Edafológica SII	12,329,829.43	Pastizal	50	10	20	54.85 ^b
Media	12,329,818.83	Incertidumbre de tasa de incremento				107.2 ^b
Desviación estándar	7,592.95					
Incertidumbre de superficie	0.12 ^a	Incertidumbre de absorción de carbono				107.36 ^c
Cálculos de incertidumbre de liberación anual de carbono						
Cálculos de consumo de biomasa			Cálculos emisión por quema			

Relación de conversión-expansión	20 [*]	F. de carbono	2 ^d
Consumo de leña	89.36 ^{**}	F. de quema fuera del bosque	70 ^d
Incertidumbre consumo de biomasa	91.57 ^b	Incertidumbre por quema	70.02 ^b
<i>Incertidumbre de liberación anual de carbono</i>		115.28 ^c	
Incertidumbre total de la categoría		78.68 ^c	

^{*}Incertidumbre obtenida del INEGI (2002); ^{**}Se calculó considerando una media de 4.7 y desviación de 2.1, empleando la ecuación 23; ^aSe calculó empleando la ecuación 23; ^bSe calculó empleando la ecuación 24; ^cSe calculó empleando la ecuación 25; ^dIncertidumbre por defecto obtenida de la guía de buenas prácticas del IPPC (2003). **NOTA1:** No se calcularon las incertidumbres de tasa de crecimiento anual de matorral xerófilo, cosecha comercial y fracción oxidada. **NOTA2:** Todos los valores de incertidumbre en el cuadro, están en %.

Cuadro 5A. Cálculo de incertidumbre para la categoría de bióxido de carbono proveniente de la conversión de bosques y pastizales.

Cálculos de incertidumbre de liberación por quema y por descomposición	
Superficie	0.12 ^a
Biomasa antes de la conversión	15 ^b
Biomasa después de la conversión	15 ^b
Fracción de biomasa quemada <i>in-situ</i>	70 ^c
Fracción de biomasa quemada fuera del bosque	70 ^c
Fracción de C de la materia seca	2 ^c
<i>Incertidumbre de liberación por quema</i>	100.19 ^d
<i>Incertidumbre de liberación por descomposición</i>	21.30 ^d
Incertidumbre total de la categoría	70.91 ^e

^aSe calculó empleando la ecuación 23; ^bIncertidumbre obtenida del INEGI (2002); ^cIncertidumbre por defecto obtenida de la guía de buenas prácticas del IPPC (2003); ^dSe calculó empleando la ecuación 24; ^eSe calculó empleando la ecuación 25. **NOTA1:** En el cálculo de incertidumbre de liberación por quema no se consideró el valor de incertidumbre correspondiente a biomasa oxidada, así mismo, no se consideró, la incertidumbre de la fracción de biomasa abandonada en el cálculo de liberación por descomposición. **NOTA2:** Todos los valores de incertidumbre en el cuadro, están en %.

Cuadro 6A. Cálculo de incertidumbre para la categoría de emisiones de gases distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal.

Dato de actividad/Factor de emisión	Incertidumbre (%)
Superficie	0.12 ^a
Biomasa antes de la conversión	15 ^b
Biomasa después de la conversión	15 ^b
Fracción de biomasa quemada <i>in-situ</i>	70 ^c
Fracción de biomasa quemada fuera del bosque	70 ^c
Fracción de C de la materia seca	2 ^c
Incertidumbre total de la categoría	73.17 ^d

^aSe calculó empleando la ecuación 23; ^bIncertidumbre obtenida del INEGI (2002); ^cIncertidumbre por defecto obtenida de la guía de buenas prácticas del IPPC (2003); ^dSe calculó empleando la ecuación 24; ^eSe calculó empleando la ecuación 25. **NOTA1:** La incertidumbre correspondiente a la fracción de biomasa oxidada *in situ* no fue considerada en el cálculo de la incertidumbre total. **NOTA2:** Todos los valores de incertidumbre en el cuadro, están en %.

Cuadro 7A. Cálculo de incertidumbre para la categoría de abandono de las áreas manejadas.

Cálculos de incertidumbre de la absorción en los primeros 20 años de abandono	
Superficie	0.12 ^a
Tasa de incremento anual	
Selva subcaducifolia	50 ^b
Fracción de C de la materia seca	2 ^c
<i>Incertidumbre de la absorción en los primeros 20 años</i>	50.04 ^d
Cálculos de incertidumbre de la absorción en más de 20 años de abandono	
Superficie	0.12 ^a
Tasa de incremento anual	
Coníferas	37.41 ^b
Selva subcaducifolia	50 ^b
Selva baja	50 ^b
Pastizal	54.77 ^b
Fracción de C de la materia seca	2 ^c
<i>Incertidumbre de la absorción en más 20 años</i>	96.97 ^d
Incertidumbre total de la categoría	90.04 ^e

^aSe calculó empleando la ecuación 23; ^bIncertidumbre obtenida del INEGI (2002); ^cIncertidumbre por defecto obtenida de la guía de buenas prácticas del IPPC (2003); ^dSe calculó empleando la ecuación 24; ^eSe calculó empleando la ecuación 25. **NOTA:** Todos los valores de incertidumbre en el cuadro, están en %.

Cuadro 8A. Cálculo de incertidumbre para la categoría de emisión o absorción de CO₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra.

Dato de actividad/Factor de emisión	Incertidumbre (%)
Superficie	0.12 ^a
Contenido de carbono del suelo	95 ^b
Incertidumbre total de la categoría	95 ^c

^aSe calculó empleando la ecuación 23; ^cIncertidumbre por defecto obtenida de la guía de buenas prácticas del IPPC (2003); ^dSe calculó empleando la ecuación 24

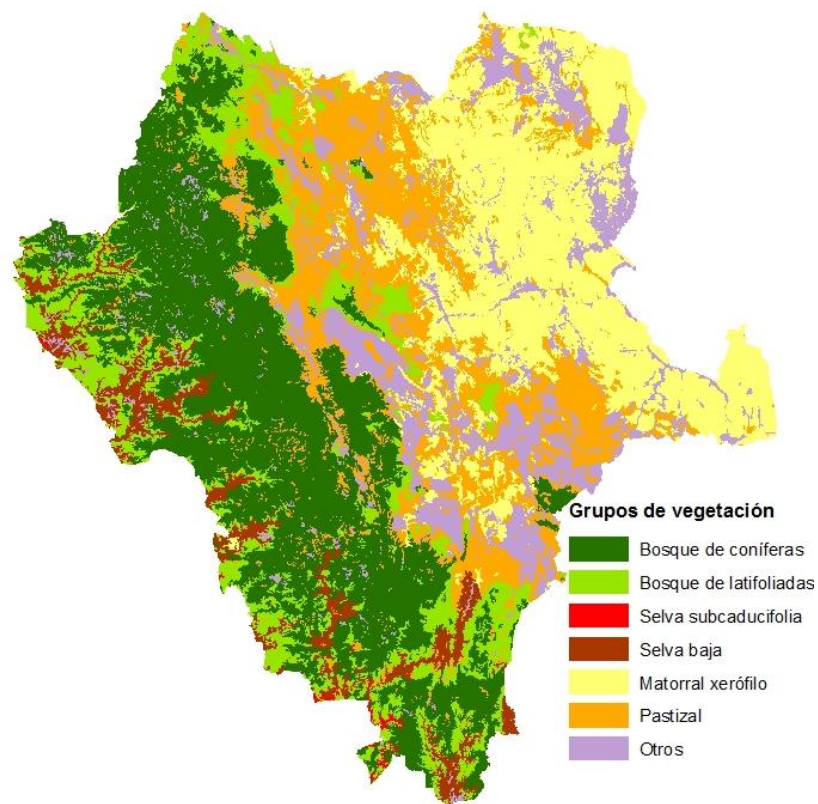


Figura 1A. Clasificación de los grupos de vegetación del estado de Durango.
Fuente: INEGI, 2009.

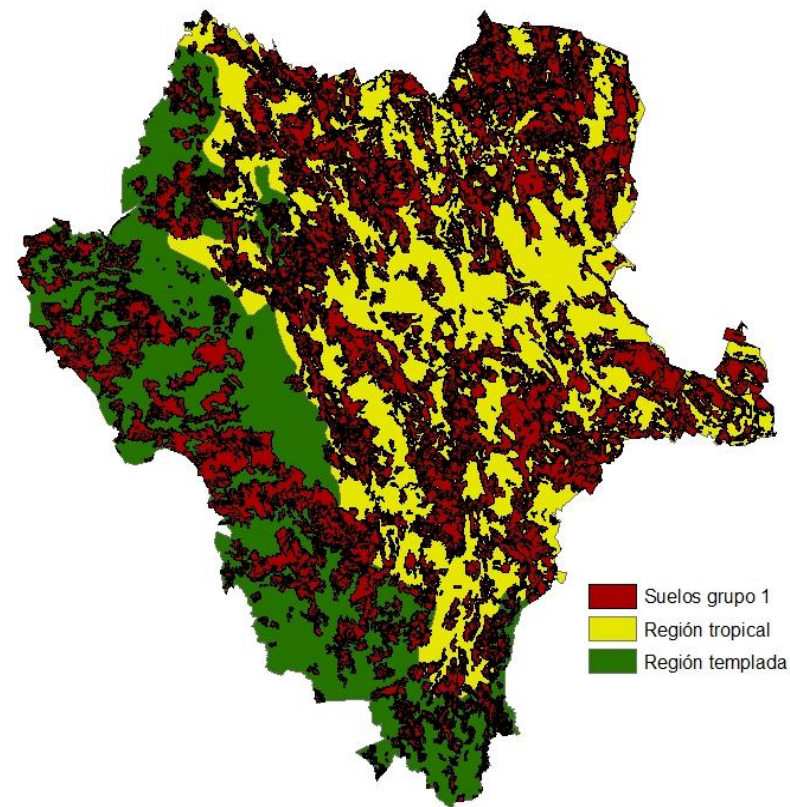


Figura 2A. Distribución geográfica de los suelos del grupo 1 (HAC) en el estado de Durango.
Fuente: INEGI, 2007.

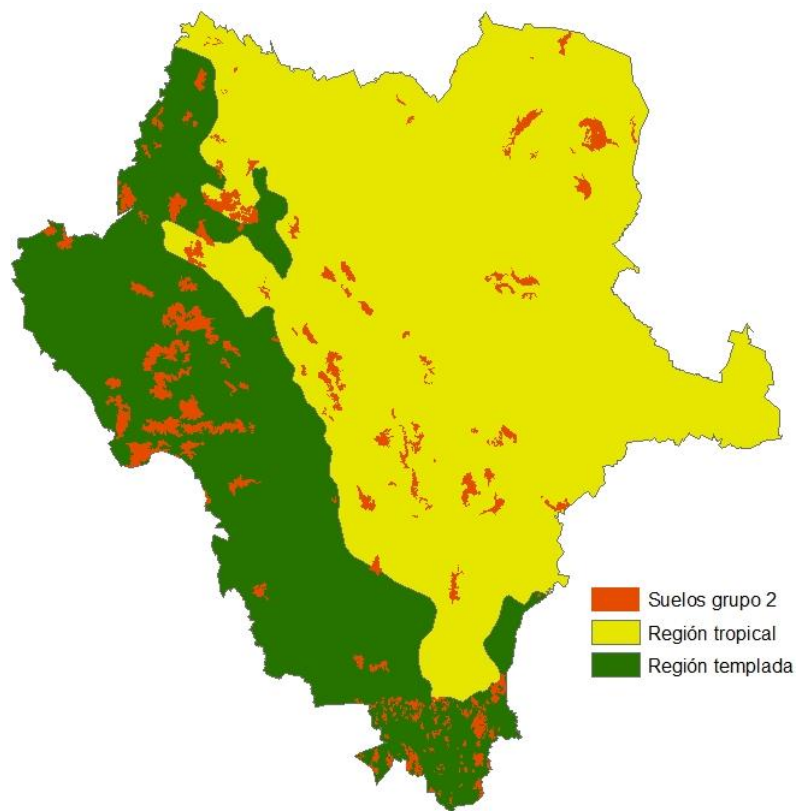


Figura 3A. Distribución geográfica de los suelos del grupo 2 (LAC) en el estado de Durango.
Fuente: INEGI, 2007.

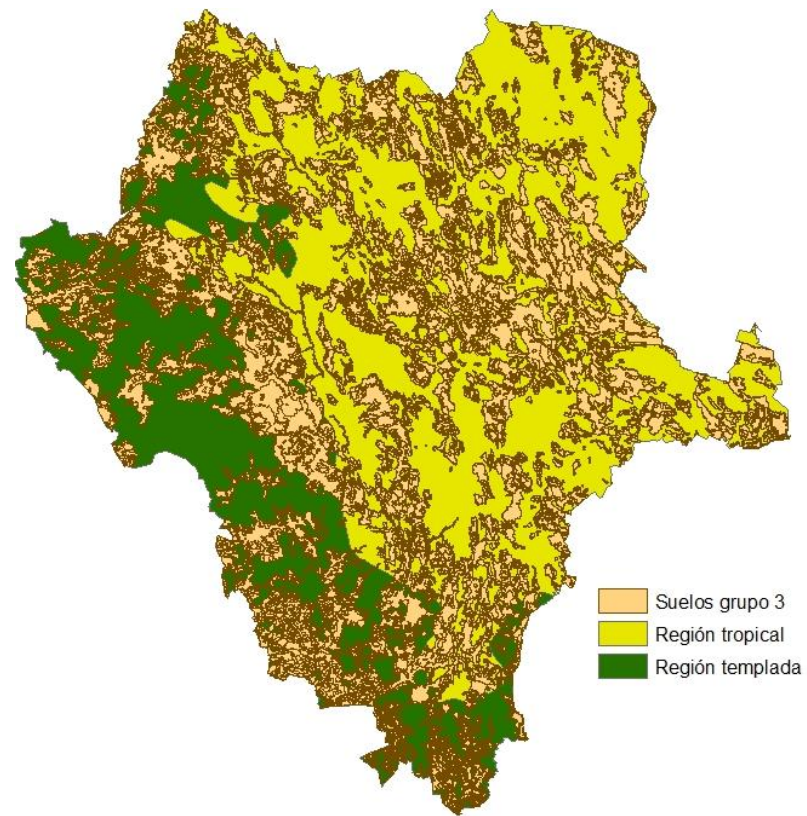


Figura 4A. Distribución geográfica de los suelos del grupo 3 (arenosos) en el estado de Durango.
Fuente: INEGI, 2007.