



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.

IPA-05-2010

CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LA VEGETACIÓN DEL SUELO DE CONSERVACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL





PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.

PAOT

IPA-05-2010

Responsable del estudio:
**Procuraduría Ambiental y
del Ordenamiento Territorial**

Biol. Mónica Viétnica Alegre González
**Subprocuradora de Protección
Ambiental**

Hidrobiol. Rafael Contreras Lee
**Director de Estudios, Dictámenes y
Peritajes de Protección Ambiental**

Biol. Zenia María Saavedra Díaz
**Subdirectora de Estudios, Informes y
Reportes de Protección Ambiental**

El presente estudio fue elaborado conforme al Artículo 5º de la Ley Orgánica de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, recibiendo recursos del Programa de Desarrollo Institucional Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Se permite la reproducción total o parcial de este documento sin que sea necesario obtener autorización por parte de esta Procuraduría siempre que se cite correctamente la fuente. La PAOT agradecerá se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

2010

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento
Territorial del D.F.
Medellín No. 202, Col. Roma Sur, C.P. 06700
Delegación Cuauhtémoc, México, D.F.
Tel: 52 65 07 80
www.paot.org.mx

Medellín 202-3er. Piso. Col. Roma Sur. Del Cuauhtémoc. C.P. 06700, México, D.F.
Teléfono: 5265•0780 ext. 1101. fax ext. 1105



Contenido

Presentación	4
Objetivo General	5
Objetivos Particulares	5
1.- Introducción.....	6
2.- Antecedentes	7
3.- Metodología	16
3.1 Fase de campo.....	17
3.2 Fase de gabinete.....	21
5.- Conclusiones.....	29
6.- Bibliografía	32



PRESENTACIÓN

El fortalecimiento de las capacidades de las instituciones es importante porque contribuyen a desarrollar el marco conceptual de las políticas públicas, la formulación, el seguimiento en la aplicación de programas y al impulso de iniciativas innovadoras dirigidas a prestar un mejor servicio a la ciudadanía.

En este sentido, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha aportado recursos económicos provenientes del “Programa de Desarrollo Institucional Ambiental (PIDIA)”, para que la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (PAOT) realice el proyecto “Procuración y Acceso a la Justicia Ambiental como estrategia para la Mitigación del Cambio Climático en el Distrito Federal” que comprende realizar estudios y acciones de capacitación; es entonces que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) desarrolló durante el 2009 el *“Estudio de estimación de captura de carbono como indicador del estatus del derecho de los habitantes del D.F. a gozar de áreas verdes adecuadas para su desarrollo, salud y bienestar”*, cuya área de estudio fue principalmente el Suelo de Conservación del Distrito Federal.

Asimismo durante el año 2010 el Centro de Investigaciones en Geografía y Geomática en conjunto con PAOT desarrolló el proyecto *“Evaluación de la vulnerabilidad ambiental que presenta el suelo de conservación por la pérdida de servicios ecosistémicos a consecuencia del cambio de uso de suelo”*. De ambos proyectos se obtuvo información sustancial para la cuantificación del carbono almacenado en la vegetación del Suelo de Conservación.

La vegetación provee de servicios ambientales y sociales que contribuyen a aumentar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, en el caso particular del Distrito Federal, más del cincuenta por ciento de su territorio está considerado como Suelo de Conservación donde se desarrollan diferentes comunidades vegetales que contribuyen de forma sustancial en la infiltración y posterior recarga de los acuíferos, así como al almacenamiento de carbono. De igual forma el arbolado de las zonas urbanas mejoran la calidad del aire al ofrecer una superficie amplia donde quedan atrapadas las partículas contaminantes. El presente documento integra los resultados más significativos de ambos estudios contribuyendo al conocimiento de los servicios ambientales que generan los ecosistemas forestales. Los resultados que se presentan están basados en métodos robustos para la estimación del almacenaje de carbono en la vegetación

Durante la planeación y ejecución de este estudio se contó con la participación del convirtiéndose en un ejercicio interinstitucional y en un trabajo integral.



IPA-05-2010

Adicionalmente, ésta dirección aportó ideas, insumos cartográficos e información general que fueron clave para el desarrollo del trabajo.

Durante la fase de muestreos de campo se incorporaron al proyecto personal de la Dirección de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Manejo Ambiental del Agua (DOETMAA) de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, los coordinadores y personal técnico de los Centros Regionales 1, 2, 3 y 4, y de la Gerencia de la Sierra de Guadalupe, instancias que pertenecen a la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría del Medio Ambiente y personal de la Delegación Tlalpan. Su participación consistió en el apoyo y acompañamiento en campo para la toma de muestras y en la gestión con los núcleos agrarios para permitir los accesos.

Al respecto, y con la finalidad de mantener un monitoreo de estos servicios ecosistémicos, los especialistas del INIFAP capacitaron al personal técnico de las instancias mencionadas, en el manejo de los equipos y el procesamiento de datos, a fin de poder replicar el estudio de estimación de almacenamiento de carbono. El estudio contribuye en el conocimiento de los servicios ambientales que generan los ecosistemas forestales.

Objetivo General

Estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de la vegetación del Suelo de Conservación del Distrito Federal.

Objetivos Particulares

1. Cuantificar el contenido de carbono aéreo en diferentes tipos de vegetación del Suelo de Conservación del D.F.
2. Obtener un mapa de almacén de carbono para todo el Suelo de Conservación del D.F.



1.- INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe preocupación derivada del alarmante aumento en la emisión de gases que acentúan el efecto invernadero sobre la tierra. El bióxido de carbono (CO₂) es uno de los principales, ocupa escasamente 0.03% del volumen atmosférico; sin embargo, lo alarmante es que después de la revolución industrial, aumentó en casi 25% (UNFCCC, 1998; Houghton, 2007); de tal manera que es responsable del 71.5% del efecto invernadero (Lashof y Ahuja, 1990; citado por Ordóñez, 1999).

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) sostiene que: “El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como se desprende ya del aumento observado del promedio mundial de temperatura del aire y del océano, de la fusión generalizada de nieves y hielos, y de un aumento promedio mundial del nivel del mar”. Aun cuando varios gases de efecto invernadero provocan este hecho, el bióxido de carbono (CO₂) sigue siendo el principal causante de dicho fenómeno antropogénico.

En México la Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT, 2005) menciona que la Comunidad Internacional enfrenta el cambio climático a través de la Convención de Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, creada en 1992, su meta es disminuir la cantidad de gases hasta que no sean peligrosos para el clima mundial. En 1997, la Convención puso las reglas para enfrentar el cambio climático, conocido como el Protocolo de Kyoto donde los países industrializados en el periodo de 2008 al 2012 se comprometen a reducir su producción de gases en un 5% por debajo de lo que producían en 1990. México inició su participación firmando el Protocolo en 1998 y lo ratificó en el año 2000.

Uno de los principales sumideros de carbono son los ecosistemas forestales por su capacidad para atenuar las emisiones de GEI, ya que además de que almacenan CO₂, participan con 90% del flujo anual de carbono en el sistema atmósfera-tierra. Durante las últimas décadas ha surgido un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre, mediante la conservación, la reforestación, la agroforestería y otros métodos de manejo del suelo. Varios estudios han demostrado el gran potencial que poseen los ecosistemas forestales para almacenar carbono (Dixon *et al.*, 1996; Maser *et al.*, 1995; De Jong *et al.*, 1995). De acuerdo con Maser *et al.* (2000), para el caso de los bosques de pino su capacidad oscila entre 50 - 86 Ton/ha y en cuanto al de pino-encino es de 33 - 69 Ton/ha.

Por lo anterior, resulta de primer orden la evaluación de este tipo de cubiertas forestales, en el Suelo de Conservación del Distrito Federal con el propósito de estimar la cantidad de carbono que actualmente almacenan, y hacer una prospectiva de la capacidad de capturar carbono que tienen los ecosistemas forestales que aún quedan en el D.F.



2.- ANTECEDENTES

El sistema Tierra-atmósfera es calentado por radiación solar de onda corta, a esta constante entrada y salida de energía (onda larga) se le conoce como equilibrio radiactivo, en donde 19% de la energía es absorbida por la atmósfera (depleción), 51% por la superficie de la tierra (insolación) y el 30% restante es reflejada al espacio exterior (Magaña, 1994). De este último, los GEI fungen como una capa que remite dicha energía a la superficie terrestre provocando una alteración en el equilibrio energético del sistema climático, lo que se conoce como el efecto invernadero (IPCC, 2007). Debido a lo anterior, la concentración de estos gases, es la que regula la cantidad de radiación infrarroja que emite nuestro planeta al espacio; por lo tanto, cuando se presentan altas concentraciones de los GEI, se eleva la cantidad de calor en la atmósfera, propiciando un aumento en la temperatura superficial media del planeta aproximadamente 285° K (Magaña, 1994; Ordóñez, 1999). El Dióxido de Carbono es el responsable de 71.5% del efecto invernadero (Lashof y Ahuja, 1990). Las emisiones mundiales de este GEI han aumentado desde la era preindustrial (1750) hasta la fecha, de 280 a 279 partes por millón (IPCC, 2007) principalmente por la utilización de combustibles de origen fósil, el cambio de uso de suelo y la deforestación (IPCC, 2007). Es el principal GEI, en términos de cantidad en la atmósfera y por su potencial de calentamiento, este gas se encuentra en un equilibrado y constante ciclo atmósfera–tierra mediante 2 grandes procesos:

a) Biológico: Por el proceso de fotosíntesis, mediante el cual el CO₂ es retirado de la atmósfera para convertirse en materia vegetal; y por el de respiración descomposición de las plantas, con el cual el CO₂ contenido en la materia viva vuelve a la atmósfera. En circunstancias normales, dichos procesos están aproximadamente en equilibrio, con un flujo anual de 60 mil millones de toneladas de C ó 60 gigatoneladas (GtonC) en cada dirección. Sin embargo, actualmente la deforestación y la degradación forestal causan un flujo neto adicional de una a dos GtonC de la biósfera hacia la atmósfera. Por otro lado, existe un sumidero transitorio del CO₂ atmosférico y la deposición de nitrógeno por la recuperación de áreas abandonadas y el efecto de la fertilización, que implica un flujo anual de dos GtonC de la atmósfera hacia los ecosistemas terrestres. Este ciclo opera en menos de un año para los procesos de respiración–fotosíntesis y hasta decenas de años para los de descomposición de la materia orgánica (Mäser, 2006 Ordóñez *et al.*, 2008).

b) Químico: Consiste en el intercambio de CO₂ entre la atmósfera y el océano, por diferencias en las concentraciones del equilibrio del gas en estos dos compartimientos. En este caso, el intercambio neto es de aproximadamente dos GtonC por año hacia el océano, que actúa como un gran sumidero de CO₂.

IPA-05-2010

Este proceso tiene un tiempo característico de uno a diez años para las aguas superficiales del océano, pero implica cientos de años si consideramos el proceso de equilibrio entre las aguas superficiales y las profundas (Masera, 2006; Ordóñez *et al.*, 2008). Este ciclo se rompe con la quema de combustibles fósiles cuyo principal producto es CO₂, que proviene de la materia viva fósil almacenada en los yacimientos de petróleo y carbón. Significa un flujo neto de la biosfera hacia la atmósfera de 5.5 GtonC al año. Este flujo es enteramente antropogénico y tiene un crecimiento anual del 1.5%, aunado a 1.6 GtonC al año por la deforestación y el cambio de uso de suelo (Masera, 2006; Ordóñez *et al.*, 2008).



Fotografía 1.- Ejemplo de zona deforestada en los dinamos de la delegación Magdalena Contreras a causa de un incendio, PAOT, 2010

El balance neto de los tres procesos es, para la década de los años noventa, de un flujo neto de 4.1 GtonC al año hacia la atmósfera, que está aumentando las concentraciones de CO₂ y el consecuente peligro de provocar cambio climático (Masera, 2006; Ordóñez *et al.*, 2008).

Históricamente, en una escala global, los cambios en la cobertura forestal han sido aportadores de dióxido de carbono a la atmósfera (Houghton, 1999; Houghton y Hackler, 2001 citado por Brown, 2001), es por esta razón que en la actualidad se considera a los bosques como una opción para mitigar las emisiones de GEI (Masera *et al.*, 2001; Ordóñez *et al.*, 2001).

Ordóñez (1999) comenta que el CO₂ participa en la composición de las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y fuste). Al

IPA-05-2010

crecer, éste incrementa su follaje, ramas, flores y frutos (en conjunto: copa) así como su altura y el grosor del tronco. Durante el tiempo en que el CO₂ se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol hasta que es enviado nuevamente al suelo o la atmósfera, se considera almacenado.

Los procesos de captura-emisión son parte de un sistema con cuatro tipos generales de reservorios de carbono (vegetación aérea y subterránea, materia en descomposición, suelos y productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes (Ordóñez, 1999). El concepto de contenido de carbono normalmente integra la idea de conservar los inventarios de este elemento que se encuentran en suelos, bosques y otro tipo de vegetación (Tipper *et al.*, 2000).

Una opción de mitigación de carbono se define como cualquier acción que resulte en una reducción del incremento neto en las emisiones de este gas de un área determinada o por la sustitución de combustibles fósiles (Maser 1995).



Fotografía 2.- Bosque de pino, PAOT, 2010

Existen alternativas básicas de mitigación de carbono en el sector forestal:

- a) **La conservación:** Consiste en evitar las emisiones de carbono mediante la preservación de las áreas naturales protegidas, el fomento del manejo sostenible de los bosques naturales y el uso renovable de la leña o bien con la reducción de la ocurrencia de incendios.



IPA-05-2010

- b) **La reforestación y forestación:** Esta opción consiste en recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia, el desarrollo de plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de sistemas agroforestales.

La Agenda Ambiental de la Ciudad de México del Programa de Medio Ambiente 2007 – 2012, menciona que México contribuye con alrededor de 1.5% de las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero (GEI), con lo que se ubica en el lugar 12 en el ámbito mundial. De esta contribución, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) aporta 9% de las emisiones nacionales, ya que durante el año 2006 se emitieron 58.9 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente. El Distrito Federal participa con 61% de las emisiones de la ZMVM: durante el 2006 emitió 36.2 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente.

De acuerdo con los inventarios de emisiones de GEI realizados para el Distrito Federal, la aportación de los diferentes sectores a las emisiones se distribuye de la siguiente manera: el sector transporte es el principal emisor (43%), seguido por el industrial (22%), el residencial (13%) y los residuos sólidos (11%), estos cuatro sectores representan 89% del total. Los tres combustibles que contribuyen con el 90% de los requerimientos energéticos son la gasolina (62%), el GLP (17%) y el diesel (11%).

El Distrito Federal, ha asumido la responsabilidad de promover y poner en práctica medidas para la reducción de emisiones y captura de GEI. Dichos proyectos incluyen la implantación de medidas para el ahorro y uso eficiente de los recursos naturales; la regulación y el uso eficiente de equipos, de la sustitución de combustibles y la promoción de combustibles alternos; la utilización de nuevas tecnologías y fuentes renovables de energía; el desarrollo de acciones en el sector forestal para la captura de carbono y prácticas más eficientes que impactan los sectores con mayor contribución de emisiones, de acuerdo con lo diagnosticado en el inventario local de GEI.

De los programas asociados con la estrategia sobre la elaboración y aplicación del Plan de Acción Climática de la Ciudad de México, incluye el Programa de captura de carbono que considera incrementar y conservar el contenido de carbono en los reservorios y extraer, de ese modo, bióxido de carbono de la atmósfera; este programa considera proyectos que contemplen acciones de protección, restauración, manejo forestal, así como el impulso al establecimiento de sistemas agroforestales, manejo de recursos naturales, la protección al bosque, la reducción de las tasas de deforestación y el ordenamiento ecológico en el Suelo de Conservación, así como algunas de estas acciones en Áreas Verdes Urbanas.

Se han registrado 5 estudios de caso en masas forestales del Suelo de Conservación, donde se han empleado diferentes métodos de estimación de



IPA-05-2010

biomasa, muestreo, unidad de muestreo, intensidad de muestreo, superficies y formas de mapeo.

1) En 2001, la Comisión de Recursos Naturales realizó el proyecto nombrado "**Estimación del contenido de Carbono en la biomasa en el área del Suelo de Conservación del Distrito Federal**" que tuvo por objetivo estimar el carbono total, lo que es equivalente al contenido en la vegetación (biomasa aérea y subterránea) y mantillo (hojarasca).

Levantaron un inventario forestal basado en un muestreo sistemático al azar, con una intensidad de muestreo de 0.019%, lo que fue equivalente a 74 sitios muestreados. La unidad de muestreo empleada fue sitios circulares de 1000 m² (figura 1) para obtener los parámetros dasométricos (diámetro y altura), asimismo, dentro de los mismos sitios se levantaron otros de superficie de 100 m² para obtener datos de regeneración, reforestación, edad e incremento del arbolado y en el centro de estos círculos se colectó la hojarasca en una superficie de 0.25 m².

Para el cálculo del carbono almacenado en la biomasa aérea y subterránea (raíces) emplearon las siguientes formulas:

$$C_{ba} = V * VD * BEF * CC$$

Donde:

C_{ba}= Carbono en biomasa aérea
V= Volumen total del árbol
VD= Densidad de la madera
BEF = Factor de expansión
CC= Contenido de carbono

$$C_{br} = C_{ba} * F$$

Donde:

C_{br}= Carbono en biomasa subterránea
F= Factor de expansión

Para el cálculo del carbono contenido en el mantillo emplearon la siguiente fórmula:

$$CM = \text{Peso seco} * 0.5$$

Donde:

CM= Carbono en mantillo
Peso seco= Peso seco obtenido en laboratorio
0.5= Contenido de Carbono en la materia seca de La hojarasca

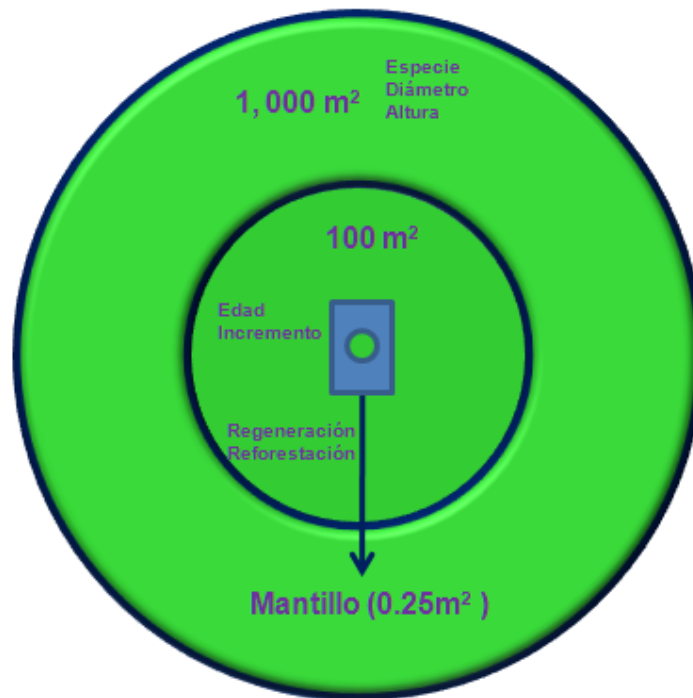


Figura 1. Sitios Corena (Corena, 2001)

Las estimaciones resultantes se describen en el cuadro 1:

Tipo de vegetación ¹	Ha	Ton C / ha en biomasa aérea	Ton C / ha en mantillo	Error
Encino	3545.52	37.40	3.91	Desconocido
Aile	703.41	33.02	3.25	Desconocido
Vegetación introducida	85.32	16.32	1.03	Desconocido
Oyamel	9775.79	144.07	6	Desconocido
Pino	24377	57.61	5.03	Desconocido

Cuadro 1.- Estimaciones de carbono para diferentes tipos de vegetación del SC (CORENA, 2001)

2) En 2001, Valenzuela realizó el estudio **“Estimación de secuestro de Carbono en bosques naturales de Oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Distrito Federal”**, que tuvo por objetivo aplicar un modelo matemático para estimar la



IPA-05-2010

cantidad de carbono secuestrado en biomasa aérea en bosques naturales de *Abies religiosa* en los Parques Nacionales del Desierto de los Leones y Cumbres del Ajusco.

Utilizando un muestreo sistemático estratificado, con una intensidad de muestreo de 0.43% para el caso del Ajusco y 6.4% para el desierto de los Leones. La unidad de muestreo fue de forma circular, con un radio 13.81 m y una superficie de 600 m².

Para el cálculo del contenido de carbono en la biomasa aérea empleó las siguientes formulas:

$$CT = V * d * F$$

Donde:

CT= Carbono total
d = Densidad específica de la madera
F= Factor de conversión

$$C_d = VFT [F (D+W) - F(D-W)]$$

Donde:

C_d= Carbono secuestrado por clase diamétrica
VFT= Volumen de Fuste total por Ha
2W= Amplitud de la clase

Utilizando la ecuación de Función de Densidad de Probabilidad Weibull acumulativa:

$$F(x) = 1 - \exp(-((x-a)/b)^c)$$

La estimación resultante se describe en el cuadro 2:

Tipo de vegetación	Ha	Ton C / ha en biomasa aérea	Error
<i>Abies religiosa</i>	2500	207.98	Desconocido

Cuadro 2.- Estimaciones de carbono para *Abies religiosa* (Valenzuela, 2001)

3) En 2005, Espinoza realizó el estudio “**Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena, Magdalena Contreras, D.F.**” que tuvo por objetivo conocer el carbono almacenado en la biomasa aérea de los rodales de *Pinus hartwegii*. Se utilizó un muestreo aleatorio estratificado, con una superficie muestreada de 1.6ha. La unidad de muestreo es de forma circular y tiene una superficie de 625 m².

Para el cálculo del contenido de carbono en la biomasa aérea se emplearon las siguientes formulas:



$$B= V*d$$

Donde:

B=Biomasa
V= Volumen
d=Densidad de la madera

$$CC=B*1.3*0.45$$

Donde:

CC= Contenido de carbono
B= Biomasa
1.3= Factor de expansión para fustes
0.45= Proporción de carbono en la biomasa
seca

La estimación resultante se describe en el cuadro 3:

Tipo de vegetación ²	Ha	Ton C / ha en biomasa aérea	Error
<i>Pinus hartwegii</i>	2926	31.61	Desconocido

Cuadro 3.- Estimaciones de carbono para *Pinus hartwegii* (Espinoza, 2005)

4) En 2006, Nava realizó el estudio “**Carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterios de restauración, en el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca del Río Magdalena, D.F.**” que tuvo por objetivo conocer el carbono almacenado en la biomasa aérea de los rodales de *Abies religiosa*.

Levantó un inventario forestal basado en un muestreo aleatorio estratificado, con una intensidad de muestreo de 0.12%. La unidad de muestreo empleada fueron cuadrantes de 25 x 25 metros con una superficie de 625m².

Para el cálculo del contenido de carbono en la biomasa aérea empleó las siguientes formulas:

$$B= V*d$$

Donde:

B=Biomasa
V= Volumen
d=Densidad de la madera

$$CC=B*1.3*0.45$$

Donde:

CC= Contenido de carbono
B= Biomasa
1.3= Factor de expansión para fustes

0.45= Proporción de carbono en la biomasa seca.

La estimación resultante se describe en el siguiente cuadro:

Tipo de vegetación ³	Ha	Ton C / ha en biomasa aérea	Error
Abies religiosa	1433	58	Desconocido

Cuadro 4.- Estimaciones de carbono para *Abies religiosa* (Espinoza, 2005)

5) En 2008, Galeana realizó el estudio **“Estimación del contenido y captura potencial de carbono, su valoración económica, en la cuenca del Río Magdalena, D.F.”** que tuvo por objetivo cuantificar la biomasa aérea por tipo de cobertura forestal de la cuenca del Río Magdalena.

Levantó un inventario forestal basado en un muestreo sistemático estratificado, con una intensidad de muestreo de 0.64%. La unidad de muestreo empleada se basó en un diseño anidado (figura 2), que es equivalente a un conglomerado con 3 sitios circulares de radio de 17.84m (radio que fue compensado según el porcentaje de pendiente existente en el sitio) con una equidistancia de 30 metros entre sitio.

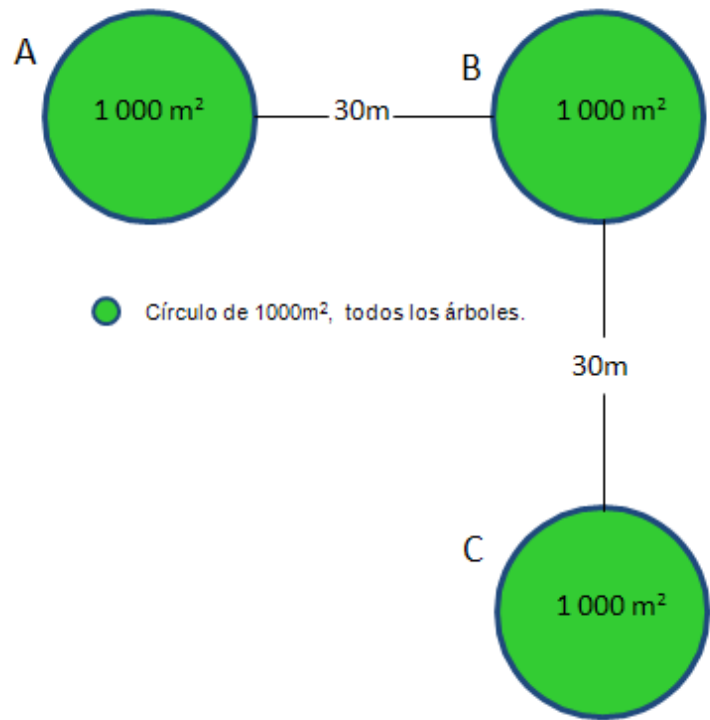


Figura 2.- Diseño anidado (Galeana, 2008).



Para el cálculo del contenido de carbono en la biomasa aérea emplearon las siguientes formulas:

$$B = V \cdot d$$

Donde:

B=Biomasa

V= Volumen

d=Densidad de la madera

Todos los valores de biomasa se pasaron a carbono mediante un factor de 0,5 MgDM / MGC (IPCC, 2001).

Las estimaciones resultantes se describen en el cuadro 5:

Tipo de vegetación ⁴	Ha	Ton C / ha en biomasa aérea	Error
<i>Abies religiosa</i> abierto	183.08	37.40	24.51
<i>Abies religiosa</i> cerrado	1012.09	162.91	16.69
<i>Abies religiosa</i> – <i>Pinus sp.</i> cerrado	341.70	106.92	25
<i>Pinus sp.</i> – <i>Abies religiosa</i> cerrado	179.98	39.39	14.88
<i>Pinus hartwegii</i> abierto	322.14	21.21	5.62
<i>Pinus hartwegii</i> cerrado	288.56	47.37	5.64

Cuadro 5.- Estimaciones de carbono para diferentes tipos de vegetación del SC (Galeana, 2008)

3.- METODOLOGÍA

Se estimó el carbono almacenado en la vegetación del Suelo de Conservación a partir de la información de 299 conglomerados de los cuales la información correspondiente a 249 fue proporcionada por la Secretaría del Medio Ambiente proveniente del estudio **“Inventario y Monitoreo de los Ecosistemas Forestales en el Suelo de Conservación del Distrito Federal”** aunado a esta información la PAOT durante los meses de enero a marzo del 2010 llevó a cabo un inventario complementario de 47 conglomerados en áreas forestales y 3 conglomerados más establecidos en áreas agrícolas.

Para la toma de datos de campo correspondiente a los 50 conglomerados, se contó con la participación del personal de la PAOT, de la CORENA de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal y del Instituto Nacional de

IPA-05-2010

Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Si bien es cierto, que el INIFAP coordinó directamente las actividades de campo, el apoyo arduo y constante de la PAOT y la CORENA, permitió que el trabajo cumpliera con la calidad requerida y se hiciera en el tiempo programado.

3.1 FASE DE CAMPO

El muestreo de los 50 conglomerados se realizó conforme al diseño del Inventario Nacional Forestal y de Suelos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR-SEMARNAT. S/F). Cada uno de ellos se integró con cuatro unidades de muestreo secundarias o subparcelas circulares de 400 m² y dispuestas en forma de una “Y invertida” (Figura 3). La subparcela central identifica al conglomerado y las tres restantes se ubican a 45.14 m de ella.

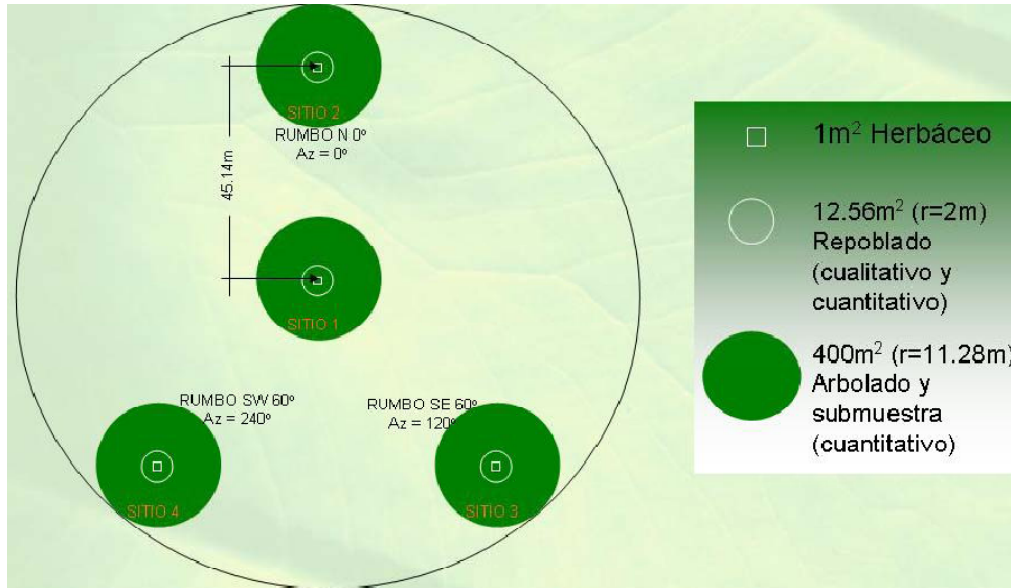


Figura 3. Forma del conglomerado.

En todas las unidades de muestreo se evaluaron los elementos arbóreos cuyo diámetro normal fue mayor a 7.5 cm . Las principales variables registradas incluyeron: nombre científico y común de la especie arbórea, diámetro normal (cinta diamétrica) y su altura total (pistola Haga®). En el caso de las coníferas, se registró la edad a los tres árboles más cercanos al centro de la subparcela, para lo cual se obtuvo una muestra epidométrica (viruta) con el Taladro de Pressler.



Fotografía 3. Altura de medición de diámetro normal.



Fotografía 4. Medición con cinta diamétrica.



Fotografía 5. Obtención de la muestra epidométrica.

Los 299 están distribuidos sistemáticamente en los diferentes tipos de vegetación: bosque inducido, bosque mixto, matorral, oyamel, pino, pastizal y áreas agrícolas. Los 50 conglomerados muestreados se ubicaron en aquellas regiones en donde la información dasométrica proporcionada por la PAOT carecía de datos.

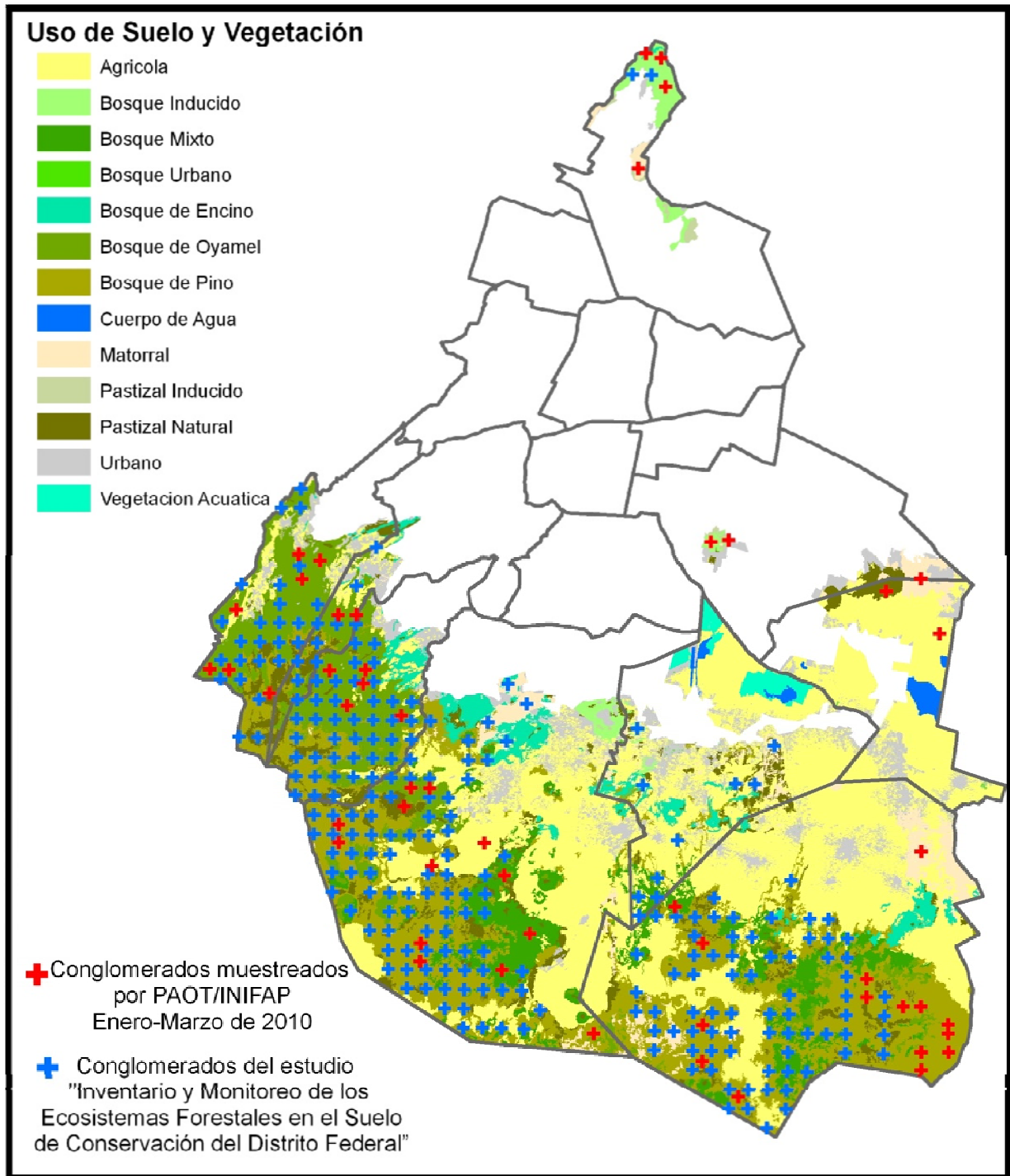


Figura 4.- Distribución de los 299 conglomerados

3.2 FASE DE GABINETE

La información de campo se capturó en una tabla de datos diseñada en Excel, en la cual el conglomerado, la longitud (X), la latitud (Y), el tipo de vegetación, el sitio, el nombre científico (codificado a ocho caracteres), el diámetro normal y la altura total constituyeron los campos (columnas); mientras que los registros (filas) estuvieron definidos por los ejemplares forestales evaluados.

Para estimar el carbono a nivel de árbol se emplearon ecuaciones de carbono, de biomasa y de volumen, según la especie considerada, mismas que se consultaron en la literatura especializada sobre el tema.

En el caso de las expresiones para el carbono, la variable independiente es el diámetro normal (cm) y la variable dependiente el carbono (kg). Las ecuaciones empleadas por especie se muestran en el Cuadro 3.

Si se tiene un árbol de *Pinus montezumae* con diámetro normal de 42 cm, el carbono almacenado será de 512.36 kg. Esto resulta de sustituir el diámetro normal del 42 cm en la ecuación $C = 0.006*(DN^{3.038})$. Si el individuo pertenece a la especie *P. hartwegii* y su diámetro normal es de 38 cm, al sustituirlo en $C=0.0515*(DN^{2.2659})$ se obtiene un valor estimado de 195.63 kg.

Especie	Ecuaciones
<i>Pinus montezumae</i>	$C = 0.006*(DN^{3.038})$
<i>Alnus jorullensis</i>	$C = 0.009*(DN^{2.75})$
<i>Pinus patula</i>	$C = 0.021*(DN^{2.645})$
<i>Abies religiosa</i>	$C = 0.033*(DN^{2.51})$
<i>Clethra mexicana</i>	$C = 0.2249*(DN^{1.8168})$
<i>Schinus molle</i>	$C = 0.2249*(DN^{1.8168})$
<i>Pinus hartwegii</i>	$C=0.0515*(DN^{2.2659})$

Cuadro 6. Ecuaciones de carbono.

C: Carbono (kg); DN: Diámetro normal (cm).

Fuente: Acosta et al. (2002); Acosta et al. (2009); Avendaño et al. (2009); Bonilla (2009); Díaz et al. (2007); Juárez-Bravo (2008).

A las especies consignadas en el Cuadro 4 se les aplicó ecuaciones de biomasa; con un factor de 0.5 para determinar directamente el carbono por individuo. En este contexto, el carbono (kg) también se estimó a partir del diámetro normal (cm).



Especie	Ecuaciones
<i>Alnus acuminata</i>	$C = (\text{EXP} (-2.14 + 2.23 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Alnus cordata</i>	$C = (\text{EXP} (-2.14 + 2.23 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Alnus filifera</i>	$C = (\text{EXP} (-2.14 + 2.23 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Alnus sp</i>	$C = (\text{EXP} (-2.14 + 2.23 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Crataegus mexicana</i>	$C = (\text{EXP} (-2.14 + 2.23 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Garrya laurifolia</i>	$C = (\text{EXP} (-2.14 + 2.23 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Prunus serotina</i>	$C = (\text{EXP} (-2.14 + 2.23 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Acacia farnesiana</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus candicans</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus crassifolia</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus crassipes</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus deserticola</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus frutes</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus germana</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus glaucescens</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus glaucooides</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus laeta</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus laurina</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus mexicana</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus obtusata</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus potosina</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus repanda</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus resinosa</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27 + 2.39 * \text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$



<i>Quercus rugosa</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27+2.39*\text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$
<i>Quercus sp</i>	$C = (\text{EXP} (-2.27+2.39*\text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$

Cuadro 7. Ecuaciones de biomasa

C: Carbono (kg); DN: Diámetro normal (cm). El factor 0.5 es para convertir la biomasa a carbono.

Fuentes: Jiménez (2002); Acosta et al. (2002); Acosta et al. (2009); Avendaño et al. (2009); Bonilla (2009); Díaz et al. (2007); Juárez-Bravo (2008).

Si se tiene un árbol de *Alnus acuminata* cuyo diámetro normal es de 45 cm, al sustituir este valor en la ecuación $C = (\text{EXP} (-2.14+2.23*\text{LN}(\text{DN}))) * 0.5$, el carbono estimado para ese individuo será de 285.9195 kg.

En las ecuaciones de volumen se consideró un factor de expansión, para incluir el follaje, de 1.1 en coníferas y de 1.2 en latifoliadas; además de la densidad de la madera ton / m³ (según la especie) y se utilizó el factor de conversión de carbono de 0.5 que contiene la biomasa. Por lo tanto, en este último caso el carbono se calculó a partir del diámetro normal (cm), la altura total (m) y la densidad de la madera (Cuadro 9).

Especie	Ecuaciones
<i>Arbutus glandulosa</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719+2.38201*\text{LN}(\text{DN})+0.16164*\text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Arbutus xalapensis</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719+2.38201*\text{LN}(\text{DN})+0.16164*\text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Buddleia americana</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719+2.38201*\text{LN}(\text{DN})+0.16164*\text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Buddleia cordata</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719+2.38201*\text{LN}(\text{DN})+0.16164*\text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Buddleia lanceolata</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719+2.38201*\text{LN}(\text{DN})+0.16164*\text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Buddleia microphylla</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719+2.38201*\text{LN}(\text{DN})+0.16164*\text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Buddleia parviflora</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719+2.38201*\text{LN}(\text{DN})+0.16164*\text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Cupressus lusitanica</i>	$C = (\text{EXP}(-9.5382+1.74008*\text{LN}(\text{DN})+1.04811*\text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.7 * 0.5 * 1000$
<i>Buddleia sp</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719+2.38201*\text{LN}(\text{DN})+0.16164*\text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Juniperus deppeana</i>	$C = (\text{EXP}(-9.58311796+1.86739198*\text{LN}(\text{DN})+0.98501687*\text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.62 * 0.5 * 1000$
<i>Juniperus monticola</i>	$C = (\text{EXP}(-9.58311796+1.86739198*\text{LN}(\text{DN})+0.98501687*\text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.62 * 0.5 * 1000$



<i>Juniperus sp.</i>	$C = (\text{EXP}(-9.58311796 + 1.86739198 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.98501687 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.62 * 0.5 * 1000$
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	$C = (\text{EXP}(-9.68805616 + 1.591185 * \text{LN}(\text{DN}) + 1.204418 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Eucalyptus globulus</i>	$C = (\text{EXP}(-9.68805616 + 1.591185 * \text{LN}(\text{DN}) + 1.204418 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.75 * 0.5 * 1000$
<i>Pinus ayacahuite</i>	$C = (\text{EXP}(-9.73084158 + 1.86001307 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.98860113 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.45 * 0.5 * 1000$
<i>Pinus greggii</i>	$C = (\text{EXP}(-9.63495649 + 1.86670523 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.99551381 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.512 * 0.5 * 1000$
<i>Pinus leiophylla</i>	$C = (\text{EXP}(-10.34881812 + 2.02143823 * \text{LN}(\text{DN}) + 1.03958842 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.5 * 0.5 * 1000$
<i>Pinus radiata</i>	$C = (\text{EXP}(-9.63495649 + 1.86670523 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.99551381 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.512 * 0.5 * 1000$
<i>Pinus rudis</i>	$C = (\text{EXP}(-9.63495649 + 1.86670523 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.99551381 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.512 * 0.5 * 1000$
<i>Pinus teocote</i>	$C = (\text{EXP}(-9.99696596 + 1.91126433 * \text{LN}(\text{DN}) + 1.05268932 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.49 * 0.5 * 1000$
<i>Pinus sp.</i>	$C = (\text{EXP}(-9.5377 + 1.9649 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.8905 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.5 * 0.5 * 1000$
<i>Salix bonplandiana</i>	$C = (\text{EXP}(-9.45552671 + 1.83036294 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.97662425 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.56 * 0.5 * 1000$
<i>Salix cana</i>	$C = (\text{EXP}(-9.45552671 + 1.83036294 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.97662425 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.56 * 0.5 * 1000$
<i>Salix paradoxa</i>	$C = (\text{EXP}(-9.45552671 + 1.83036294 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.97662425 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.59 * 0.5 * 1000$
<i>Salix sp.</i>	$C = (\text{EXP}(-9.45552671 + 1.83036294 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.97662425 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.2 * 0.59 * 0.5 * 1000$

Cuadro 9. Ecuaciones de volumen.

C: Carbono en kg, DN: Diámetro normal en centímetros y A: Altura total en metros, LN: Logaritmo natural, EXP: Función EXP. Fuente: Inventarios Forestales Estatales (1994, 1978, 1975, 1974).

En la siguiente expresión, que corresponde a *Pinus rudis*, se ejemplifican los factores involucrados.

$$C = (\text{EXP}(9.63495649 + 1.86670523 * \text{LN}(\text{DN}) + 0.99551381 * \text{LN}(\text{A}))) * 1.1 * 0.512 * 0.5 * 1000$$

El factor de 1.1 se utiliza para incluir el follaje, 0.512 es la densidad de la madera (ton / m³), 0.5 sirve para transformar la biomasa a carbono (Mg) y con el factor de 1000 se convierte el valor del carbono (C) a kilogramos.

Si en esta expresión se sustituyen los valores 41.9 cm y 19.9 m, correspondientes al diámetro normal y la altura total, respectivamente de un árbol (*Pinus rudis*), su carbono será de 385.8742 kg.



IPA-05-2010

Las estimaciones puntuales por hectárea se obtuvieron mediante la metodología sugerida por Smelko y Merganic (2008), la cual considera un estimador denominado “media de razones”, cuyo numerador es el total del carbono obtenido, al tomar en cuenta los valores de carbono obtenidos en las parcelas de 400 m² y el denominador se refiere a la superficie muestreada en cada conglomerado, la cual se obtiene al multiplicar 400 m² por el número de parcelas de 400 m² evaluadas en el *i*-ésimo conglomerado.

El estimador puntual por hectárea para el *i*-ésimo conglomerado se representa de la siguiente manera:

$$Y_{ha(i)} = \frac{Y_i}{X_i} = \frac{\sum_{j=1}^m Y_{ij}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t Y_{ijk}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}}$$

Donde:

Y_{ijk} : Carbono del *k*-ésimo árbol (*t* árboles) obtenido con la ecuación de carbono. Este árbol pertenece a la *j*-ésima unidad de muestreo secundaria y al *i*-ésimo conglomerado.

X_{ij} 400 m², superficie de *j*-ésima unidad de muestreo secundaria perteneciente al *i*-ésimo conglomerado.

m: número de unidades de muestreo secundarias evaluadas en el *i*-ésimo conglomerado.

t: número de árboles evaluados en la unidad de muestreo secundaria perteneciente al *i*-ésimo conglomerado.

Las superficies de los tipos de vegetación se obtuvieron de la base cartográfica proporcionada por la PAOT.

4.- RESULTADOS

Derivado del estudio “*Estudio de estimación de captura de carbono como indicador del estatus del derecho de los habitantes del D.F. a gozar de áreas verdes adecuadas para su desarrollo, salud y bienestar*”, y tomando en cuenta un total de 299 conglomerados los tipos de vegetación que presentan mayor contenido de carbono promedio por hectárea son el bosque de oyamel, el bosque mixto, el bosque de pino y el bosque inducido, con valores de: 93.41, 47.92, 46.95 y 28.26 Ton/ha, respectivamente. El matorral, el pastizal y el área agrícola, presentan valores unitarios inferiores a 8.5 Ton/ha. Con una confiabilidad del 95%, se estima que el contenido de carbono por hectárea para el oyamel oscila entre 83.97 y 102.85 Ton/ha; mientras que para la parte agrícola varía de 0.43 a 2.27 Ton/ha (la estimación de carbono considera únicamente la parte aérea del arbolado (fuste, ramas y hojas).

Tipo de Vegetación	Número de Conglomerados	TON/HA		
		Límite inferior	Estimación puntual del promedio	Límite superior
Bosque Oyamel	86	83.9729	93.4129	102.8530
Bosque Mixto	30	39.3615	47.9224	56.4830
Bosque de Pino	160	41.0274	46.9546	52.8820
Bosque Inducido	7	15.0317	28.2673	41.5030
Matorral	11	3.9536	8.4800	13.0060
Pastizal	2	2.0280	6.7647	11.5010
Agrícola	3	0.4392	1.3560	2.2727
Total	299			

Cuadro 10. Estimaciones puntuales y de intervalo por hectárea por tipo de vegetación.

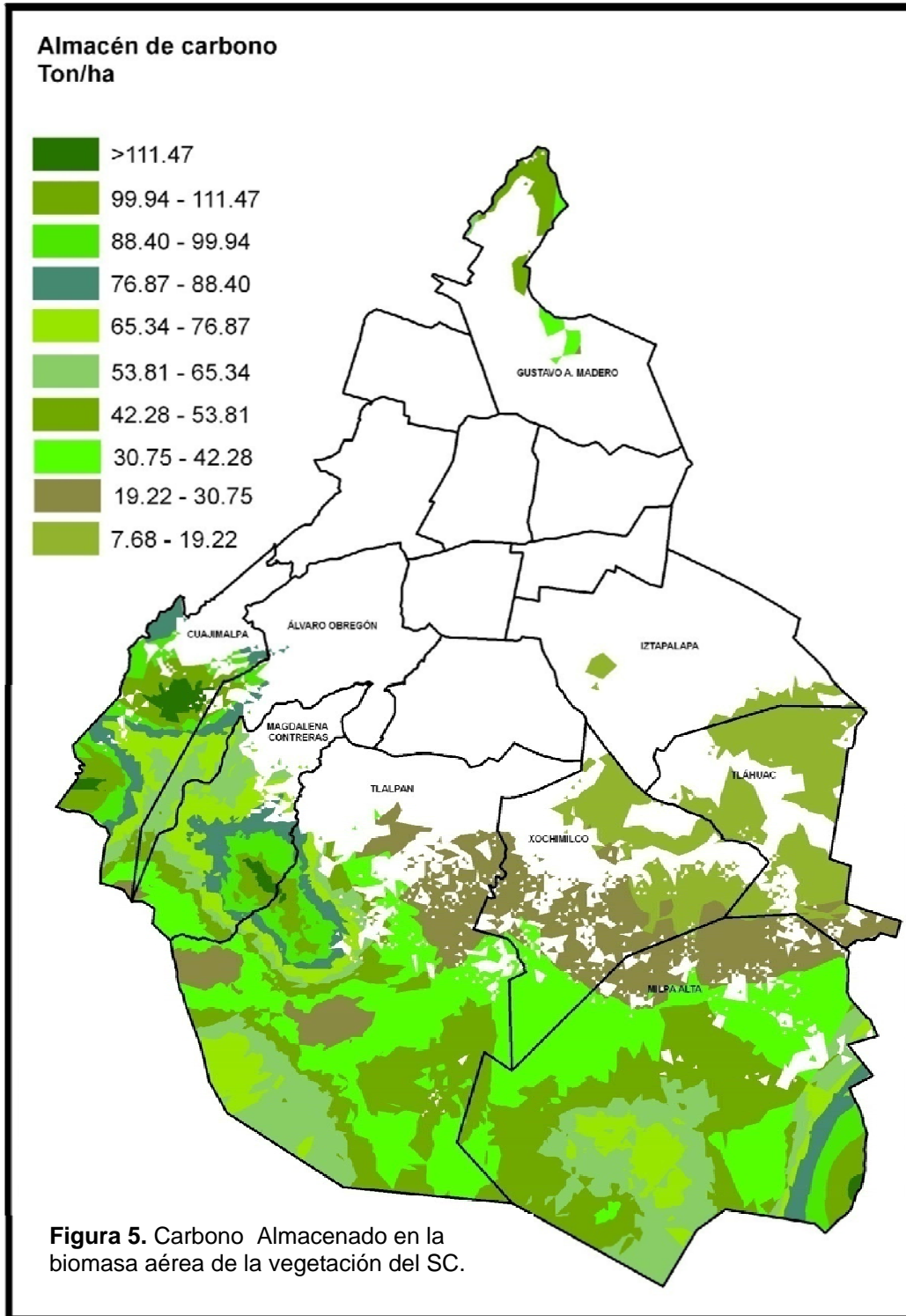


De 87,296.32 ha de Suelo de Conservación del Distrito Federal el estudio arroja una estimación puntual del contenido total de carbono almacenado de 2, 209, 522.53 Ton/ha, el cálculo de esta cifra está en función de la cartografía empleada ya que esta determina la superficie.

Los valores unitarios (Ton/ha) obtenidos en este trabajo para los diferentes tipos de vegetación, son relativamente bajos respecto a los intervalos registrados en otros estudios realizados en el Distrito Federal. Los siguientes razonamientos pueden explicar este hecho:

1. El carbono estimado por árbol en el presente estudio se obtuvo directamente a partir de ecuaciones de carbono, de biomasa o funciones de volumen; en este caso se consideró la densidad de la madera, así mismo factores de expansión de 1.1 para el caso de coníferas y 1.2 para latifoliadas para la estimación del fuste, las ramas y el follaje.
2. En las especies que presentaron mayor frecuencia como *Abies religiosa*, *Pinus montezumae* y *Alnus jorullensis* la estimación de carbón a nivel individual se realizó utilizando directamente ecuaciones de carbono, que son más precisas.
3. Para el caso de *Pinus hartwegii* y *Quercus* spp. se usaron ecuaciones de biomasa, ecuaciones con precisión intermedia, Esta especie y género ocupan la mayor superficie total en los bosques de pino, bosque de oyamel y bosque mixto.

Para estimar la distribución del contenido de carbono en la biomasa aérea para todo el Suelo de Conservación fue necesario emplear técnicas geoestadísticas para obtener valores en sitios que no fueron muestreados; para el caso de ese estudio se realizó una interpolación mediante la técnica de **kriging**. En la figura 5 se muestra el almacén de carbono expresado en toneladas por hectárea a lo largo de todo el Suelo de Conservación del D.F.





IPA-05-2010

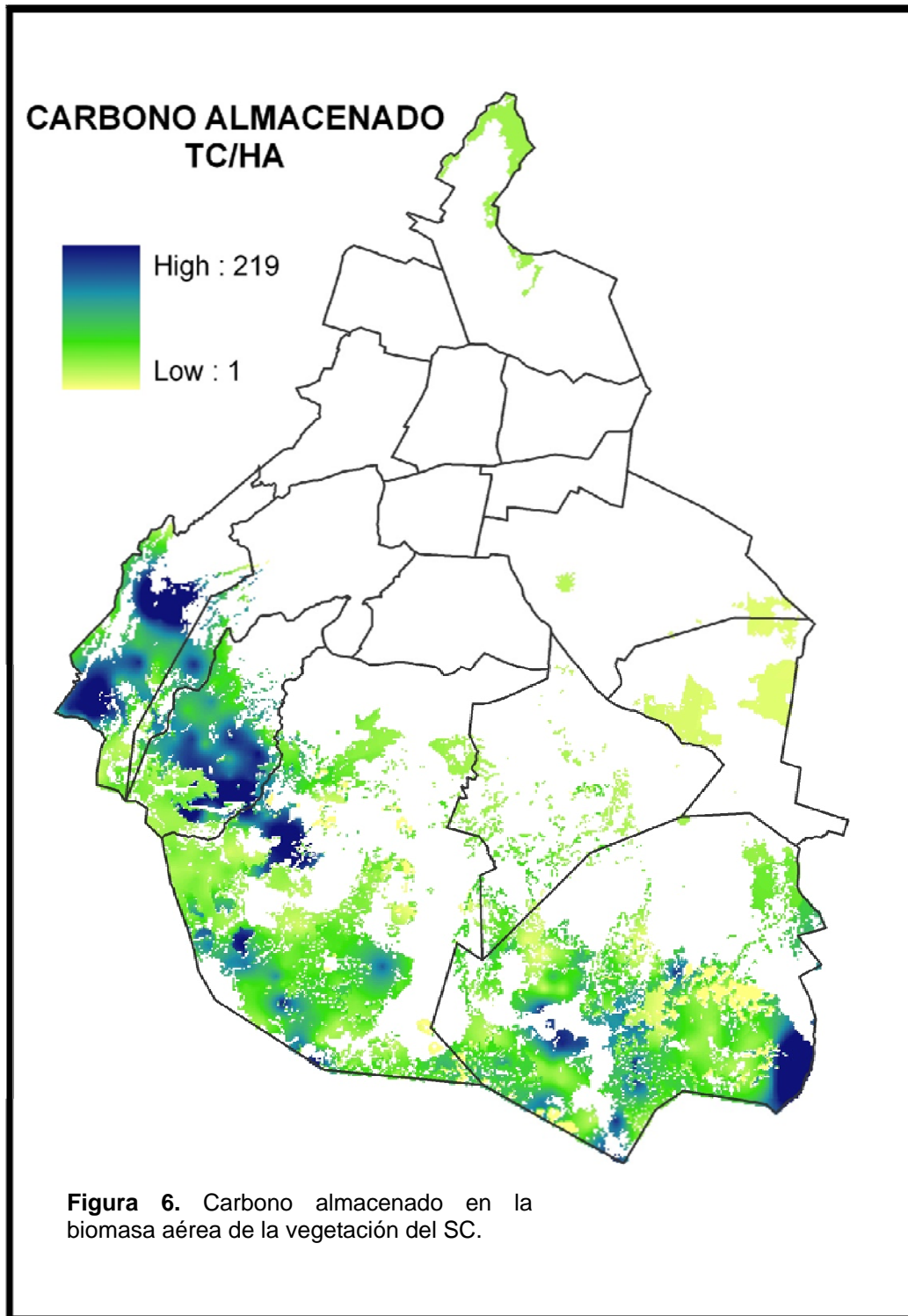
Como parte del estudio “**Evaluación de la vulnerabilidad ambiental que presenta el suelo de conservación por la pérdida de servicios ecosistémicos a consecuencia del cambio de uso de suelo**” se cuantificaron diversos servicios ambientales entre ellos el almacén de carbono cuyo análisis partió de la información generada en el estudio antes mencionado pero cuya diferencia radica en el método de interpolación empleado.

Para este estudio con la finalidad de generar una capa de información con menor incertidumbre, se volvió a realizar la interpolación de datos pero para este caso se utilizó el método de **Cokriging Ordinario** para tres coberturas boscosas principales: Bosque de Oyamel, Bosque Pino y Bosque de Encino. Los resultados obtenidos para el bosque de oyamel en una superficie de 9,357.60 ha fue de 798,662 toneladas de carbono almacenado; es decir ese tipo de bosque almacena 83.217 TonC/ha; en contraste el bosque de pino almacena 778,362 toneladas de carbono en una superficie de 19,529.96 ha, lo que se traduce en 39.85 TonC/ha y por último los bosques mixtos almacenan 192,539 TonC/ha en una superficie de 5,737.85 ha (33. 56 TonC/ha). Los resultados obtenidos en ambos resaltan la importancia de los bosques de Oyamel ya que presentan la mayor cantidad de carbono almacenado en una superficie mucho menor a la que representa los bosques de Pino. En el siguiente cuadro se presentan los valores puntuales y los referentes a los límites inferior y superior.

Cobertura vegetal	Estimación puntual del total (tC)	Límite inferior (tC)	Límite superior (tC)	Ton/ha
Oyamel	798,662	772,336.08	826,282.92	83.22
Pino	778,362	743,468.1	813,478.9	39.85
Bosque Mixto	192,539	186,845.5	198,337.8	33.56

Cuadro 11. Estimaciones puntuales y de intervalo por hectárea por tipo de vegetación.

Abies religiosa es una especie vulnerable a disminuir su extensión en el Suelo de Conservación ya que necesita condiciones de temperatura baja y sin grandes oscilaciones térmicas diurnas así como una humedad relativa alta y constante ya que su crecimiento está en función de la sombra, el suelo y la competencia con otras especies del sotobosque. Por eso cuando hay factores externos como deforestación, incendios la superficie cubierta por esta especie queda expuesta a cambios en las condiciones microclimáticas. Por ello es importante crear estrategias que aseguren su permanencia.





5.- CONCLUSIONES

- I. Tomando como referencia los estudios "***Estudio de estimación de captura de carbono como indicador del estatus del derecho de los habitantes del D.F. a gozar de áreas verdes adecuadas para su desarrollo, salud y bienestar***" y ***Evaluación de la vulnerabilidad ambiental que presenta el suelo de conservación por la pérdida de servicios ecosistémicos a consecuencia del cambio de uso de suelo***". Los bosques de Oyamel son el tipo de vegetación que almacenan la mayor cantidad de carbono por hectárea (83.9729 tonC/ha y 83.22 tonC/ha respectivamente) con relación a los demás tipos de coberturas forestales presente en el Suelo de Conservación del Distrito Federal
- II. Los resultados de ambos estudios son una fuente de información importante en la construcción de una línea base en materia de almacén de carbono aéreo contenido en los diferentes tipos de ecosistemas del Suelo de Conservación del D.F.
- III. Los mapas de carbono almacenado se construyeron a partir de los datos de 299 conglomerados y utilizando técnicas de geoestadística: Kiging y Cokrigin, siendo esta segunda técnica la que representa los datos de manera con menor grado de incertidumbre; no obstante hay sitios como la Sierra de Guadalupe que por contar con poca información de campo, los resultados se generalizan asumiendo que todo el Suelo de Conservación presente en la Delegación Gustavo A. Madero presenta la misma aptitud de almacén de carbono.
- IV. Para tener un conocimiento integral en lo que respecta a los reservorios de carbono del Suelo de Conservación del D.F., es necesario enfocar estudios a estimar el carbono contenido en el suelo, ya que los resultados presentados en este documento, solo son un reflejo de lo que sucede en la parte aérea de los ecosistemas forestales del S.C.



6.- BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Mireles M., J. Vargas-Hernández, A. Velásquez-Martínez y J. D. Etchevers-Barra 2002. “Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca”. México. *Agrociencia* 36(6):725-736.
- De Jong, B. G., K. Nelson Montoya-Gómez, L. Soto-Pino, J. Taylor and R. Tipper. 1995. Community forest management and carbon sequestration: a feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Galeana Pizaña J. M. 2008. “Estimación del contenido y captura potencial de carbono. su valor económico; en la cuenca del Río Magdalena. D.F., México”. Tesis de Licenciatura. Lic. en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Nava M. 2005. “Carbono almacenado como servicio ecosistémico y criterios de restauración en el Bosque de *Abies religiosa* de la Cuenca del Río Magdalena, D.F. México” .Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. 70p.
- Espinoza M. 2005. “Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena. Magdalena Contreras. D.F. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 72pp.
- IPCC. 2007. Cambio Climático 2007; Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. Una evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio climático. 114 pp.
- SMA (Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal). 2003. Programa General de Ordenamiento del Distrito Federal 2000-2003. 133 pp.
- Ordóñez J.A.B.. 1999. “Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo. Michoacán”. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. D.F. p. 7-9
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2005. <http://www.semarnat.gob.mx/estados/sonora/Documents/KIOTO1.pdf>.
- Dixon R. K., S. P. Sathaye, O. R. Meyers, O. Masera, A. A. Makarov, S. Toure, W. Makundi y S. Wieil. 1996. Greenhouse Gas Mitigation Strategies:



IPA-05-2010

Preliminary Results from the U. S. Country Studies Program. *Ambio.* 25(1): 26-32.

- Masera O., A. D. Cerón y Ordóñez J. A. 2001. "Forestry mitigation options for Mexico: Finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns". En: *Mitigation and adaptation Strategies for Global Change.* p. 291-312
- Masera O., B. De Jong, I. Ricalde y J. A. Ordóñez. 2000. "Consolidación de la Oficina Mexicana para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero". Reporte final. México. INE-UNAM. México. D. F. México. 197 p.
- Masera. O. R. 1995. Carbon mitigation scenarios for mexican forest: Methodological Considerations and Results. *Interciencia.* 20(6). 388-395.
- Magaña. V. 1994. El pronóstico del tiempo para los próximos días. meses. años.... En: *Ciencias.* No 35. pp. 15 – 22.
- Valenzuela H. T. 2001. "Estimación de secuestro de Carbono en Bosques Naturales de Oyamel en el sur del Distrito Federal". Tesis Profesional. Chapingo. Edo. De México. p 59-60.