



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Estimación del contenido de carbono
en biomasa aérea en el Ejido de San Pedro
Jacuaro, Michoacán, México

T e s i s

Que como requisito para obtener el grado de

MAESTRO EN CIECIAS
en Conservación y Manejo de Recursos Naturales

Presenta:

María Erika Tapia Medina

Director de tesis:
Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Co-director de tesis:
M.en C. Arturo Carrillo Sánchez

Morelia, Mich., diciembre de 2006.



Resumen:

Como consecuencia del aumento en las concentraciones de carbono en la atmósfera y su repercusión en el cambio climático global, se han establecido líneas de investigación dedicadas a determinar la cantidad de carbono almacenado en los ecosistemas, de los cuales los bosques templados presentan un gran potencial de captura de carbono en sus diferentes almacenes (biomasa aérea, suelo y mantillo). El presente estudio titulado “Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el Ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México”, se desarrolla como una contribución para la mejor comprensión y la solución de este problema y como parte del proyecto titulado: “Estimación del contenido de carbono en tres diferentes almacenes: biomasa aérea, suelo y mantillo en el bosque de la comunidad de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México; que tiene como objetivo general estimar el carbono contenido en tres diferentes almacenes (biomasa aérea, suelo y mantillo). Este estudio fue financiado en parte por la Comisión Forestal del Estado de Michoacán y la Fundación PRODUCE-Michoacán.

La biomasa aérea comprende: el tronco, las hojas, las ramas; en el presente estudio, se obtuvieron dos estimaciones del contenido de carbono en la biomasa aérea: una alta y una baja. La estimación alta, mostró valores de entre 71 a 198 tC/ha, con promedio de 129.1 tC/ha; la estimación baja varió entre 67 y 177 tC/ha, con promedio de 103.1 tC/ha. La estimación del carbono total contenido en los tres diferentes almacenes del área de estudio, se calculó en una estimación alta y una baja: la estimación alta indicó un total de 215.0 tC/ha, mientras que la estimación baja indicó 184.3 tC/ha, lo que implica que hay 396,030 tC (estimación alta) y 339,480 tC (estimación baja) con un promedio de 367,737 tC en las 1,842 ha de San Pedro Jacuaro. Del total del carbono contenido por ha, el 60.0 % corresponde a la biomasa aérea, el 28.2 % al suelo, el 10.8 % a las raíces y el 1.0 % al mantillo. Respecto a la captura potencial de carbono, se estimó que el bosque fija 1.54 tC/ha/año y en las 1,842 ha, puede fijar anualmente un total de 2,837 tC/año.

Abstract:

As consequence of the carbon concentrations increase in the atmosphere and their repercussion in the global climatic change, lines of investigation have been established dedicated to determine the quantity of carbon stored in ecosystems; one of them, the temperate forests, present a great carbon sequestration potential in their different stocks (aerial biomass, soil and litter). The present study titled "Estimation of the carbon content in aerial biomass in the Ejido of San Pedro Jacuaro, Michoacan, Mexico", develops like a contribution for the understanding and the suggest solution of this problem and as part of the project titled: "Estimation of the carbon content in three different stocks: aerial biomass, soil and litter in the forest of the community of San Pedro Jacuaro, Michoacan, Mexico; that general to estimate the contained carbon in three different stocks (aerial biomass, soil and litter), this study was supported in part by the Forest Commission of the Michoacan State and the PRODUCE's Michoacan Foundation.

The aerial biomass include: steam, leaves and branches; in the present study, two estimations of the content of carbon were obtained in the aerial biomass: a high and a low. The high estimation, showed values from among 71 to 198 tC/ha, with an average of 129.1 tC/has; the low estimation varied among 67 and 177 tC/ha, with an average of 103.1 tC/ha. The estimation of the total carbon content in the three different stocks of the area of study; was calculated in a high and a low estimation: the high estimation indicated a total of 215.0 tC/ha, while the low estimation indicated 184.3 tC/ha, what implies that there are 396,030 tC (high estimation) and 339,480 tC (low estimation) with an average of 367,737 tC in the total 1,842 ha. Of the total of the carbon contained by ha, the 60.0% corresponds to the aerial biomass, the 28.2% to the soil, the 10.8% to the roots and the 1.0% to the litter. Regarding the potential of carbon sequestration estimated, that the forest can capture 1.54 tC/ha/yr, and that in the 1,842 has, in the total area can capture annually a total of 2,837 tC/yr.

CONTENIDO:

CAPITULO 1	5
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Cambio climático	5
1.2. Efectos del cambio climático en el planeta.....	8
1.3. Política Internacional ante el cambio climático global (CCG)	9
1.4. Los 80's. "La década del efecto invernadero"	10
1.5. El mecanismo de desarrollo limpio (MDL) y los proyectos forestales.....	10
1.6. Los bosques: Vulnerables y potenciales mitigadores de CO ₂	15
1.7. Desarrollo sustentable (manejo y conservación) de los bosques frente al cambio climático.....	10
1.8. La función de los bosques en el cambio climático.....	20
CAPITULO 2	24
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	24
2.1. Hipótesis.....	24
2.2. OBJETIVOS	24
2.2.1. Objetivos generales.....	24
2.2.2. Objetivos particulares	24
CAPITULO 3	25
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	25
3.1 Ubicación del área de estudio	25
3.1.1. Límites.....	26
3.1.2. Geología.....	26
3.1.3. Suelos	26
3.1.4. Hidrografía.....	28
3.1.5. Clima	28
3.1.6. Vegetación	29
3.1.7. Fauna	30
3.1.8. Agricultura	30
3.1.9. Ganadería	30
3.1.10. Industria.....	31

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.2.1 Materiales.....	31
3.2.1 Métodos.....	32
3.2.2. Estimación del contenido de Carbono	34
3.2.3. Biomasa aérea	34
3.2.4. Intensidad de muestreo	38
3.2.5. Dasimetría.....	38
3.2.6. Parámetros estructurales	39
3.2.7. Biomasa aérea	40
3.2.8. Volumen	41
3.2.9. Biomasa	42
3.2.10. Incremento corriente anual (ICA)	42
4. RESULTADOS	44
4.1. Estimación del contenido de carbono.....	48
4.1.2. Carbono en vegetación aérea (Cv)	48
4.1.3. Carbono en las raíces (Cr)	10
4.1.4. Carbono en el mantillo (Cm).....	51
4.1.5. Contenido de Carbono en el suelo (Cs)	52
4.1.6. Estimación preliminar del contenido de carbono en San Pedro Jacuaro	10
5. DISCUSIÓN	10
6. CONCLUSIÓN	10
7. LITERATURA CITADA.....	15
8. ANEXOS	10

FIGURAS	Páginas
Figura 1. Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra en los últimos 140 años	5
Figura 2. Efecto invernadero	6
Figura 3. Registro de incrementos de temperatura global (Nasa, 2006)	9
Figura 4. Principales países emisores de CO ₂	13
Figura 5. Manejo integral de los recursos naturales, con base en el aprovechamiento forestal	19
Figura 6. Fuentes y Sumideros	22
Figura 7. Ubicación del área de estudio: San Pedro Jacuaro, municipio de Hidalgo, Michoacán	25
Figura 8. Perfil del área de estudio y clasificación topográfica.	27
Figura 9. Diagrama ombrotérmico de San Pedro Jacuaro	28
Figura 10. Diseño de muestreo de carbono en biomasa aérea	37
Figura 11. Principales componentes de la biomasa aérea	40
Figura 12. El sitio de estudio se ubicado en 3 predios	45
Figura 13. Mapa de los predios: La Luz y La Cruz del Yarín	46
Figura 14. Mapa del ejido de San Pedro Jacuaro	47
Figura 15. Contenido de carbono (tC/ha) en la biomasa aérea de la vegetación en los sitios de San Pedro Jacuaro	49
Figura 16. Contenido de carbono (tC/ha) en las raíces de la vegetación, en los sitios de San Pedro Jacuaro	50
Figura 17. Contenido de carbono (tC/ha) en el mantillo, en los sitios de San Pedro Jacuaro	51
Figura 18. Estimación teórica del carbono contenido en suelo en cada uno de los sitios de San Pedro Jacuaro en tC/ha	52
Figura 19. Estimación alta del contenido de carbono	54
Figura 20. Estimación baja del contenido de carbono	54
Figura 21. Estimación alta del contenido total de carbono por almacén	55
Figura 22. Estimación baja del contenido total de carbono por almacén	55

CUADROS

Páginas

Cuadro 1. Principales gases de efecto invernadero	7
Cuadro 2. Impactos del cambio climático en el planeta	8
Cuadro 3. Cronología de Cumbres y Convenciones internacionales ante el CCG	11
Cuadro 4. Reservas globales de carbono en la vegetación y suelos	16
Cuadro 5. Comunidades vegetales y otras asociaciones importantes	29
Cuadro 6. Clases diamétrica (DN) en los bosques de San Pedro Jacuaro	39
Cuadro 7. Metodología para el cálculo de incrementos	43
Cuadro 8. Superficies de los predios que constituyen el área de estudio	44
Cuadro 9. Biomasa en bosques de pino	57
Cuadro 10. Comparación de estudios de contenido de carbono en bosques templado-fríos	58
Cuadro 11. Comparación por décadas, con otro estudio de captura de carbono	60

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Cambio climático

Uno de los fenómenos atmosféricos de mayor importancia mundial, es el cambio climático global (CCG), derivado del incremento en la temperatura superficial del planeta, el cual, es uno de los problemas ambientales más serios que está enfrentado la humanidad, en este nuevo siglo (Figura 1).

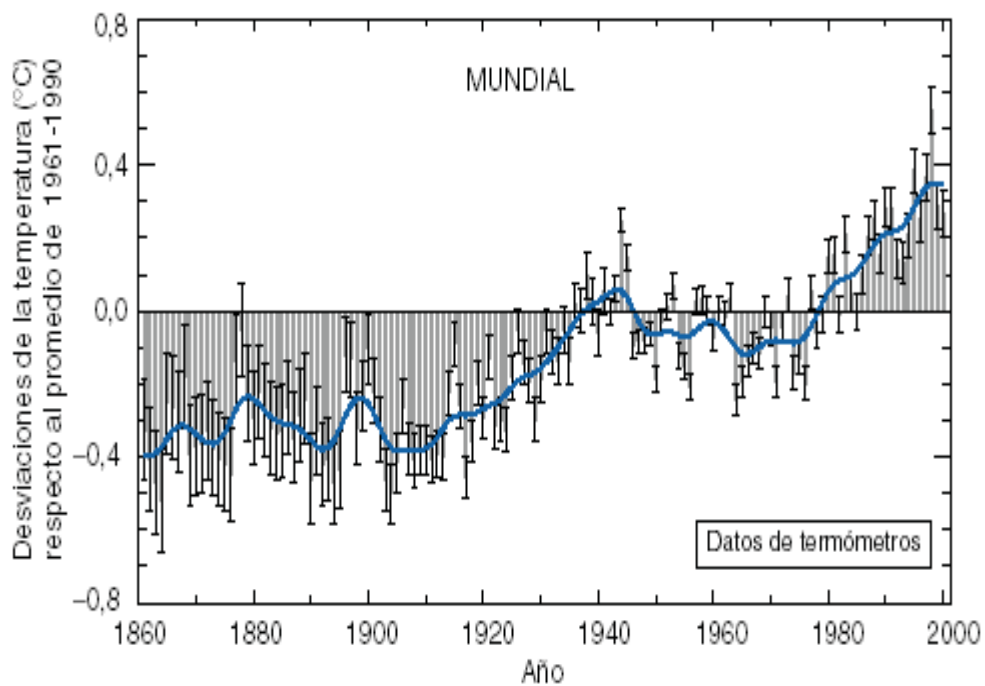


Figura 1. Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra en los últimos 140 años (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2001).

Este problema se acentúa, debido al rápido incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), bióxido de azufre (SO_2), clorofluorocarbonos (CFC's), ozono (O_3) y vapor de agua (H_2O); los cuales, tienen la capacidad de actuar como el vidrio que cubre la estructura de un invernadero, absorbiendo los rayos solares en vez de reflejarlos (Figura 2).



Figura 2. Efecto invernadero (Okinagan University College, 1995¹).

El aumento de GEI's en la atmósfera, se debe principalmente a la inadecuada utilización de los recursos naturales, así mismo a la desigualdad social y económica en el mundo, que dan lugar a un proceso tan serio como es la degradación ambiental, social y económica en el planeta, donde los factores preponderantes son: los procesos productivos, el transporte, producción del cemento, la generación de electricidad y los sistemas domésticos, los cuales dependen principalmente de la energía derivada del consumo de combustibles fósiles (IPCC, 2001).

En México, las principales fuentes de emisión de GEI's (Cuadro 1), son la producción de energía a partir del uso de combustibles fósiles provenientes de

¹ Okinagan University College, 1995. Canadá. Departamento de Geografía. Universidad de Oxford. 1995. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Washington; Cambio Climático, 1995. La ciencia del cambio climático, Contribución del Grupo 1 al segundo reporte de evaluación en el panel intergubernamental sobre cambio climático (PICC). Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), Cambridge. University Press. 1998.

depósitos de carbón, petróleo, gas, esquistos bituminosos, turba, lignito y antracita, utilizados en grandes cantidades en las naciones industrializadas. El cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo, ocupa el segundo lugar; el tercer lugar lo ocupa la producción de cemento, aunado a las emisiones generadas por procesos naturales como la erupción de volcanes (Montoya *et al.*, 1995; Ordóñez, 1999; IPCC, 2001).

Cuadro 1. Principales Gases de Efecto invernadero (Modificado de IPCC, 2001).

Gas	Fórmula Química	Fuentes de emisiones	Concentración preindustrial ppmv	Concentración en el año 1998 ppmv ²	Concentración en el año 2005 ppmv	Vida Atmosférica (años)
Dióxido de Carbono	CO ₂	Quema de combustibles fósiles, producción de cemento, cambios de deforestación y quema de las comunidades vegetales.	280	365	375.5	5-200
Metano	CH ₄	Cultivo de arroz, ganadería, rellenos sanitarios y consumo de combustibles fósiles.	700	1745	1794	12
Óxidos Nitrosos	N ₂ O	Agricultura, quema de la biomasa y procesos industriales.	270	314	321.6	114
Clorofluorocarbonos	CFC	Aerosoles, refrigerantes, aislantes.	0	268	258.2	45

En la actualidad, un tema prioritario a tratar, es el manejo sustentable y conservación de los ecosistemas forestales (GEF-UNEP, 1999). La importancia de los bosques en el mundo se debe a que ocupan 25 % de la superficie, es decir 3,454 millones de hectáreas (FAO, 1995), sin embargo, estos ecosistemas tienen una pérdida del 0.5% cada año (GEF-UNEP, 1999), debido al cambio de uso del suelo, ya que los bosques son deteriorados, fragmentados y convertidos en tierras para la agricultura, fruticultura, ganadería o apertura de caminos (Primack *et al.*, 2002). Por estas causas, es importante diseñar, planificar, desarrollar y diversificar estrategias, para un adecuado manejo de los ecosistemas forestales, que están siendo sobre explotados para la producción maderera y pulpa para papel; por ello es necesario y

² ppmv: Partes por millón en volumen.

urgente, darle una valoración económica a los bienes y servicios ambientales como son: absorción y fijación de CO₂, captación de agua, retención de suelo, belleza escénica y conservación de la biodiversidad, tanto a nivel local, como regional, nacional y global.

1.2. Efectos del cambio climático en el planeta

El calentamiento global no es un fenómeno nuevo. Durante los últimos dos millones de años, han existido al menos diez ciclos de calentamiento y enfriamiento a nivel global. Sin embargo, este proceso tiene un desfazamiento acelerado debido al aumento en los GEI's por causas antropogénicas. Se menciona que este proceso dará lugar a la sexta extinción masiva de organismos (plantas y animales en general), ya que muchas de las especies conocidas y desconocidas, no tienen la capacidad de adaptarse a las variaciones climáticas y al aumento en la temperatura de la atmósfera a nivel planetario que se están presentado en la actualidad (Cuadro 2).

Cuadro 2. Impactos del cambio climático en el planeta (IPCC, 2001; Primack *et al.*, 2002).

ELEMENTO	IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
Temperatura	▶ El incremento de temperatura en un rango de 1.5 a 5.0, superando probablemente la capacidad de muchas plantas y animales para adaptarse o emigrar. ▶ Los inviernos más fríos jamás registrados. ▶ Calentamiento y derretimiento en zonas polares, subpolares y regiones montañosas. ▶ Aumento en los niveles de agua del mar de 0.2 y 1.5 m. ▶ Sequías prolongadas
Susceptibilidad	▶ La Estocasticidad ambiental: Causada por cambios impredecibles en el clima (El Niño, La Niña) que afecta el suministro de alimentos, aumento de enfermedades y aumento en las poblaciones de depredadores y parásitos. ▶ Cambios pequeños en la precipitación tienen grandes efectos sobre la composición de especies, ciclos reproductivos de plantas y susceptibles a los incendios. ▶ Ciclones y huracanes, serán más severos y frecuentes, afectando la estructura de los bosques. ▶ Enfermedades como la malaria, el dengue, las diarreas, por el aumento en la cantidad y frecuencia de las lluvias se convertirán en epidemias ▶ Hundimiento de islas
El fenómeno de El Niño y La Niña	▶ Mayor frecuencia, persistencia e intensidad en los últimos 20-30 años, con respecto a los últimos 100 años. ▶ Afectación de la pesca.
DISTRIBUCIÓN	▶ Muchas especies con distribución limitada y /o baja capacidad de dispersión, se extinguirán. ▶ Aves migratorias
DESTRUCCIÓN	▶ Los arrecifes de coral, que son el segundo ecosistema más biodiverso, serán severamente afectados, ya en la actualidad estos están perdiendo su color debido a la muerte de los componentes vegetales y por el aumento de temperatura de aguas marinas. ▶ La destrucción de los bosques, especialmente en las costas (manglares), no son capaces de enfrentar alteraciones climáticas. ▶ Destrucción de algas, principal sumidero de CO₂ en el planeta. ▶ Fluctuaciones impredecibles de las poblaciones de especies de plantas e insectos, podrían conducir a la extinción de especies raras y aumento de otras especies.

2005 el año más caluroso en más de un siglo:

En los pasados 30 años, la Tierra presenta un incremento neto en la temperatura del aire a nivel planetario, de 0.6° C ó 1.08° F. En los últimos 100 años, se ha calentado 0.8° C ó 1.44° F (Figura 3). Sin embargo la NASA (2006), afirma que el año 2005, se registra como el año más cálido en más de un siglo, sin la ayuda de un evento extremo como El Niño, de acuerdo a científicos de NASA que han estudiado datos de temperatura de todo el mundo desde 1950. El calentamiento actual parece estar ocurriendo casi en todas partes al mismo tiempo y es mayor en latitudes altas del Hemisferio Norte.



Figura 3. Registro de incrementos de temperatura global (Nasa, 2006).

1.3. Política Internacional ante el cambio climático global (CCG)

Desde 1951, la Organización Meteorológica Mundial (siglas en español OMM y en ingles WMO), organismo especializado de las Naciones Unidas, ha realizado estudios del CO₂ en la atmósfera (Martínez y Bremauntz, 2004).

Aunque ya se conocía del tema y las consecuencias del mismo en el planeta, no fue hasta los años 70's, cuando algunos miembros de la comunidad científica se escandalizaron ante las voces de alarma, que se empezaban a levantar en la sociedad, sobre el peligro del aumento en la temperatura de la tierra, es por ello que se llevó a cabo la Cumbre de Estocolmo en 1972, donde se planteó como tema principal la contaminación atmosférica, el agotamiento de la capa de ozono, la degradación de los ecosistemas forestales y los peligros que conllevan la disminución o la desaparición total o parcial de estos (Rivera, 2000; Rojas, 2004).

1.4. Los 80's. “La década del efecto invernadero”

Así se le conoce a la década de 1980, debido a las extremas temperaturas globales promedio registradas y a la serie de Catástrofes naturales³ en el mundo, como inundaciones, terremotos, ciclones, huracanes, tifones, sequías e incendios (Figueres y Gowan, 2002). Dichos eventos provocaron que el tema del calentamiento global se volviera un tema candente, en la agenda política internacional (Martínez y Bremauntz, 2004).

Cuando las Naciones Unidas establecieron la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1983, era evidente que la protección del medio ambiente iba a convertirse en una cuestión de supervivencia para todos (Cuadro 3). La Comisión presidida por Gro Harlem Brundtland (Noruega), llegó a la conclusión de que, para satisfacer "las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias", la protección del medio ambiente y el crecimiento económico, habrían de abordarse como una sola cuestión. En 1985 se aprobó en la convención de Viena, la protección de la capa de Ozono, ratificando dos años después al celebrarse el protocolo de Montreal, que buscaba regular las emisiones de los Clorofluorocarbonos (CFC). Para el año de 1988 se creó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), cuya misión era demostrar que no había nada que temer ante este fenómeno "natural". Lo presuntamente “natural” es hoy una realidad amenazante, científica y empíricamente comprobada (Martínez y Bremauntz, 2004).

³ Catástrofes naturales: Serie de condiciones climáticas inusuales.

Cuadro 3. Cronología de Cumbres y Convenciones Internacionales ante el CCG.

Año	Cumbres y Convenciones	Temática
1951	OMM	Realiza Estudios sobre la influencia que tiene el Bióxido de carbono en la atmósfera
1972	Cumbre de Estocolmo, Suecia	Cuando se celebró en Estocolmo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano,
1985	Aprobación de los acuerdos de Viena	Protección para la Capa de Ozono y regulación de CFC.
1992	Cumbre de Río de Janeiro	Fue un momento decisivo en las negociaciones internacionales sobre las cuestiones del medio ambiente y el desarrollo sustentable.
1992	Convención Marco sobre el Cambio Climático	Earth Summit : Ratificaron 155 países y manifestaron su gran interés en la estabilización de las emisiones de GEI's.
1995	COP-1, Berlín Alemania	Mandato Berlín: Ratificar los compromisos de reducción de los GEI's.
1996	COP-2, Ginebra	Comienza a hablarse de "comercio de emisiones". Estados Unidos solicita que el Protocolo que se firme sea legalmente vinculante.
1997	COP-3, Kyoto, Japón	Se lleva a cabo el "PROTOCOLO DE KIOTO"
1998	COP-4, Buenos Aires, Argentina	No se producen avances significativos en cuanto a los mecanismos para aplicar el Protocolo, aunque se consigue la firma del mismo por parte de Estados Unidos y se comienzan a negociar algunos aspectos como los Mecanismos de Desarrollo Limpio, el Comercio de Emisiones y la transferencia de tecnología.
1999	COP-5, Bonn, Alemania	Aumentan las discrepancias entre países ricos y pobres, y se intensifican los trabajos para conseguir el cumplimiento de los calendarios establecidos.
2000	COP-6, La Haya, Holanda	La consideración de los sumideros de carbono en el marco del PK y Un total de 180 países firman el acuerdo de Bonn, entre ellos Rusia, Australia, Canadá y Japón. El llamado grupo "paraguas", formado por dichos países más Estados Unidos, se disgrega.
2001	COP-7, Marrakesh, Marruecos	Precisaron y acotaron compromisos de los países desarrollados en el marco del PK.
2002	COP-8, Nueva Delhi, India	Avanzando en los mecanismos de desarrollo limpio
2003	COP-9 en Milán, Italia	Con el trasfondo de la ambigüedad de Rusia acerca de su posible ratificación del Protocolo.
2004		Ratifica el protocolo de Kioto la antigua Unión Soviética
2004	COP-10 Buenos Aires, Argentina	189 países integran la convención pero Estados Unidos de América no ratifica aún.
2005		Es necesario que los gobiernos de los países participantes hayan hecho "progresos demostrables" hacia la consecución de los objetivos de Kioto.
2008-2012		Periodo de compromiso del Protocolo. Las emisiones globales deben haberse reducido un 5% por debajo de los niveles de 1990.

En 1992 se celebró la Cumbre de Río de Janeiro, en la cual ratificaron 155 países y manifestaron su gran interés en la estabilización de las emisiones de GEI's. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), sugirió la continuación de las negociaciones a través de la COP (Conferencia de las Partes). Dos años después, México se integra a las Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la no-inclusión de México en el Anexo I⁴ de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

⁴ Categorías del Protocolo de Kyoto designa las responsabilidades de los países firmantes son:

(UNFCCC, por sus siglas en inglés), al tiempo que se desvinculaba de la agrupación negociadora por medio de la cual, había defendido tradicionalmente sus intereses como país en desarrollo (Tudela, 2004).

En marzo de 1995, en la capital de Alemania, se celebró la primera Conferencia de las Partes (COP-1), donde se adoptó el *Mandato de Berlín* y se estableció un proceso para revisar los compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, por parte de los países inscritos en el Anexo I⁵.

Este proceso desembocó en la adopción del *Protocolo de Kioto* (Marco legal en el cual ya están estipuladas las normas y procedimientos para los países adscritos) en la COP-3, el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto, Japón, en la cual dichos países adscritos se comprometen a reducir las emisiones de los GEI's (Totten, 1999).

El acuerdo de Bonn (COP6) y los subsiguientes consensos de Marrakech (COP-7), precisaron y acotaron los compromisos de los países desarrollados en el marco del Protocolo de Kyoto y alimentaron la esperanza de que este instrumento pudiera entrar en vigor, incluso con la participación de Estados Unidos de América, ya que es el país que más emite CO₂ (Figura 4) y por un amplio margen gases que contribuyen al efecto invernadero (Tutela, 2004).

a) *Países del Anexo I*: Esta Conformado por 39 países desarrollados o con economías de mercado en transición y son los de mayor posibilidad y capacidad de acción ante el CC. En 1990 produjeron cerca del 55% de las emisiones totales de CO₂.

b) *Países del Anexo II*: Conformado por 25 países desarrollados del *Anexo I*, los cuales proporcionan ayuda económica y tecnológica a los países de la categoría *No Anexo I* con el fin de enfrentar al CC.

c) *Países del No Anexo I*: México pertenece a esta categoría, los cuales son países en vías de desarrollo, a los cuales no se les obliga a reducir sus emisiones del GEI's. (ONU: CMCC, 1998)

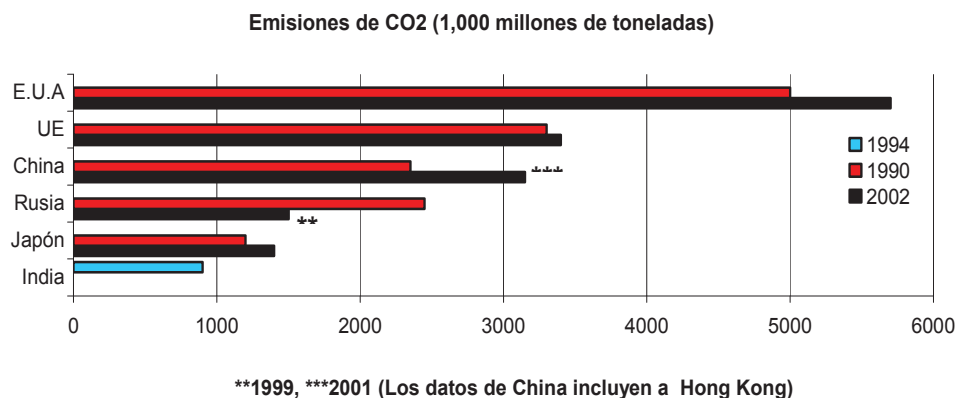


Figura 4. Principales Países emisores de CO₂ (UNFCCC, 2002).

A finales de julio de 2004, ratificaron 123 Partes (32 Anexo I y 91 No-Anexo I), sin embargo, era indispensable que Rusia lo ratificara, debido a que tiene el 17.4% de las emisiones totales del año de 1990, pero en octubre del 2004, Rusia ratificó finalmente el Protocolo de Kioto, abriendo la puerta para su entrada en vigor a principios de 2005. En la COP-10, 189 países que integran la Convención, resaltan los esfuerzos realizados en el último año por la comunidad internacional en su lucha contra el cambio climático y se comenzaron las negociaciones para establecer compromisos para la reducción de emisiones a partir del 2012. Otro de los grandes temas, que se trató fue la necesidad de poner en marcha medidas de adaptación contra los efectos negativos del calentamiento global. Durante la cumbre, se debatió sobre los instrumentos financieros para que Kioto sea viable, las condiciones para considerar los bosques como sumideros de dióxido de carbono y las reglas que guiarán la aprobación de proyectos forestales de pequeña escala como mecanismo para un desarrollo limpio (MDL; UNFCCC-CDM, 2004).

1.5. El mecanismo de desarrollo limpio (MDL) y los proyectos forestales

Para México, la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto anuncia oportunidades, desde los puntos de vista ambiental y económico; dicho documento, incluye tres mecanismos (Art. 6,12 y 17) diseñados para incrementar el costo-efectividad de la mitigación del cambio climático, al crear opciones para que las partes de Anexo I

deban de reducir sus emisiones, o aumentar sus sumideros de carbono de manera más económica, afuera o dentro del país (Guzmán *et al.*, 2004). No obstante, el costo de limitar emisiones o expandir la captura varía mucho entre regiones, ya que el efecto sobre la atmósfera es el mismo, sin importar en qué lugar se lleven a cabo dichas acciones (UNFCCC, 2003).

📌 Artículo 17. “Comercio de Emisiones”: Dicho artículo menciona que los países del Anexo B, pueden ser partícipes en actividades de comercio, de los derechos de las reducciones o mitigaciones de los GEI’s (Guzmán *et al.*, 2004).

📌 Artículo 6. “Instrumentación Conjunta”: Este artículo señala que todas las partes del Anexo I, podrán transferir a cualquier parte del mundo sus unidades de reducción de emisiones (ERUS por sus siglas en inglés), resultantes de proyectos encaminados a la reducción de gases de efecto invernadero (Guzmán *et al.*, 2004).

📌 Artículo 12 “Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)”: Este apartado es el único que abre la posibilidad de que países del Anexo I, financien proyectos de mitigación o de captura de carbono en países no-Anexo I, de ahí el gran interés que ha despertado entre los países en desarrollo. Es por ello que los bosques mexicanos pueden ser gestionados como un sumidero de carbono neto, debido a que ayudan o facilitan la reducción del CO₂ a la atmósfera. Para la formulación de este tipo de proyectos en el sector forestal, resulta de suma importancia que tanto los gobiernos de los países en vías de desarrollo, como los posibles inversionistas, las agencias de desarrollo y los agentes, estén dispuestos a ofrecer el servicio. Además que las agencias certificadoras definan cuáles son los principales indicadores, metodologías y criterios para invertir, implementar o evaluar un proyecto forestal de captura de carbono. Es por esta razón que en enero del 2004, en México se creó el Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y de Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI), y es la autoridad nacional para el comercio de reducciones de emisiones de GEI’s y ha venido difundiendo información y promoviendo la emergencia de proyectos de mitigación de GEI’s en México. La

COMEGEI ya inició el desarrollo de proyectos MDL, especialmente en generación de electricidad a partir de energías renovables como: mini-hidroeléctricas, biogas generado a partir de digestión anaerobia de biomasa y centrales eólicas (UNFCCC, 2003).

1.6. Los bosques: Vulnerables y potenciales mitigadores de CO₂

Los estudios relacionados con el impacto y vulnerabilidad del Cambio Climático sobre los ecosistemas terrestres, han sido muy generales, sin embargo, dentro de los ecosistemas terrestres, los bosques forman el almacén más importante de carbono (Cuadro 4). La importancia de los bosques es muy grande, debido a que son fuentes de mitigación o reducción de GEI's, especialmente del CO₂, sin embargo, cuando éstos son perturbados o destruidos, las reservas de carbono en la biomasa aérea pueden ser removidas total o parcialmente del lugar de origen y posteriormente transformadas en productos maderables o liberadas a la atmósfera por combustión (quema de leña) o en un periodo de tiempo más largo mediante descomposición microbiana (Aviña, 2006).

En México se calcula que existen 55,205,000 ha de bosques, que constituyen el 28.9% del territorio nacional, pero la tasa de deforestación es muy alta y se estima que se pierden entre 370,000 y 1,500,000 ha año⁻¹ de ecosistemas forestales (0.8 a 2%); se calcula que al menos el 50% de la superficie forestal original del país ha desaparecido o se ha deteriorado, de tal forma que ha perdido su función ecológica natural (Velázquez *et al.*, 2001). Los procesos de cambio de uso del suelo y la cobertura vegetal en los ecosistemas forestales, generan cerca de 150,000 toneladas de CO₂ al año, siendo la segunda fuente de emisiones de GEI sólo menor que las emisiones producidas por consumo de combustibles fósiles (Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático, 2001)

Cuadro 4. Reservas globales de carbono en la vegetación y suelos (Bolin y Sukumar, 2000; Aviña, 2006).

	Área	Reservas de Carbono (Gt C)		
	(10 ⁶ Km ²)	Vegetación	Suelos	Total
Bioma				
Bosques tropicales	17.6	212	216	428
Bosques templados	10.4	59	100	159
Bosques boreales	13.7	88	471	559
Sabanas tropicales	22.5	66	264	330
Pastizales templados	12.5	9	295	304
Desiertos y semidesiertos	45.5	8	191	199
Tundra	9.5	6	121	127
Humedales	3.5	15	225	240
Tierras agrícolas	16.0	3	128	131
Total	151.2	466	2,011	2,477

Los bosques templados del centro y sur de México experimentan actualmente un acelerado proceso de deforestación y degradación, con tasas de cambio comparables al de las selvas del país. En estudios realizado por Villers y Trejo (1998) sobre 16 zonas importantes, en cuanto a explotación forestal del país, prevén un impacto significativo sobre las zonas ubicadas en los estados de Chihuahua, Durango, Jalisco y Michoacán, que corresponden a las áreas con intensa extracción de biomasa aérea y en donde se encuentra los principales aserraderos del país y productores nacionales de muebles, contrachapados, celulosa y papel, cajas, principalmente.

Michoacán ha experimentado intensos cambios de uso del suelo durante las últimas décadas, con la mayor tasa de deforestación de bosques templados en México, con una pérdida anual estimada en 50,000 hectáreas (Masera *et al.*, 1998).

Bocco *et al.* (2001), mencionan que las tasas de deforestación en Michoacán varían desde 1.0 a 1.8 % anual en bosques templados y selvas respectivamente que se ubican entre las más altas de México -sólo por debajo de Chiapas y Oaxaca- y Latinoamérica, entre 1975 y 1993. La superficie de bosques templados se redujo, debido al cambio de uso del suelo con la deforestación de 1,811,232 a 1,297,188 ha, que equivale al 28.4% en la pérdida de la cobertura original; en cuanto a las selvas,

se perdió el 16.9% en el mismo periodo. Por otra parte, la superficie ocupada por cultivos semipermanentes pasó de 39,784 a 508,009 ha, con aumento de aproximadamente 1300%. Sin embargo, los ecosistemas forestales tienen la capacidad y potencial de convertirse en un importante sumidero ó mitigador del CO₂, en vez de ser emisor o fuente de carbono mediante tres posibles opciones básicas de mitigación de carbono en el sector forestal:

🌳 La conservación. Esta opción consiste en evitar las emisiones de carbono preservando en las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de los bosques naturales y el uso de recursos renovables como la leña, y /o reduciendo la ocurrencia de incendios (De Jong *et al.*, 2004).

🌳 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 comerciales para madera, pulpa para papel, hule, así como plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de sistemas agroforestales (De Jong *et al.*, 2004).

🌳 La sustitución. Esta opción consiste en sustituir los productos industriales por aquellos hechos de madera; es decir, ahorrar energía para producir estos productos industriales (por ejemplo: el cemento) y la sustitución de combustibles fósiles por combustibles renovables, como leña, carbón vegetal y biogas (De Jong *et al.*, 2004).

Además de estas opciones, se deben definir una línea base, las mediciones y estimaciones adecuadas y correctas, el monitoreo y verificación de los beneficios de la mitigación de los GEI's (De Jong *et al.*, 2004).

1.7. Desarrollo sustentable (manejo y conservación) de los bosques frente al cambio climático

Villers *et al.*, (2004) mencionan que por la afectación que se pueda causar en la comunidades vegetales de México, relacionadas con el cambio climático, así como por otros factores como la reducción en la superficie y la transformación a otros usos, se deben de tomar medidas y acciones drásticas que logren prevenir los daños irreversibles en los ecosistema forestales. Una de estas medidas consiste en llevar a cabo una valoración económica de los múltiples servicios o estrategias que integran el manejo del suelo, el agua y los recursos bióticos, promoviendo su conservación y usos sostenibles de forma equitativa. Este enfoque reconoce a la población humana, como un componente integrante de todos los ecosistemas y considera la necesidad de manejar su interacción con los ecosistemas.

Los bosques pueden ser manejados adecuadamente, mediante el aprovechamiento de una serie de productos no maderables, como son la recolección de diversas plantas útiles al hombre, como por ejemplo hongos, orquídeas, plantas medicinales y servicios ecosistémicos como: almacenes de carbono, áreas de recarga hídrica⁵, banco de germoplasma, manejo de fauna silvestre, belleza del paisaje, ecoturismo y establecimiento de sistemas agroforestales⁶, silvopastoriles⁷, plantaciones diversificadas y sistemas de regeneración del bosque natural y de la tala selectiva⁸ (Figura 5).

⁵ Es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua (Custodio y Llamas, 2001).

⁶ La agroforestería es el nombre genérico utilizado para describir un sistema de uso de la tierra antiguo y ampliamente practicado, en el que los árboles se combinan espacial y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas (Nair, 1984).

⁷ Los sistemas silvopastoriles son una modalidad de agroforestería pecuaria que combina los pastos para ganadería con árboles y arbustos. Estos sistemas cumplen algunas funciones de los bosques naturales porque poseen vegetación permanente con raíces profundas y un dosel denso. Son una alternativa real al tipo de ganadería que prevalece en América Latina, generan servicios ambientales y mejoran la calidad de vida de los productores y de las familias que dependen de las fincas ganaderas para su sustento (Nair, 1988).

⁸ Tala selectiva de árboles: La convencional implica la remoción o poda de árboles de buen rodal de un área en ciclos de 35 a 50 años.

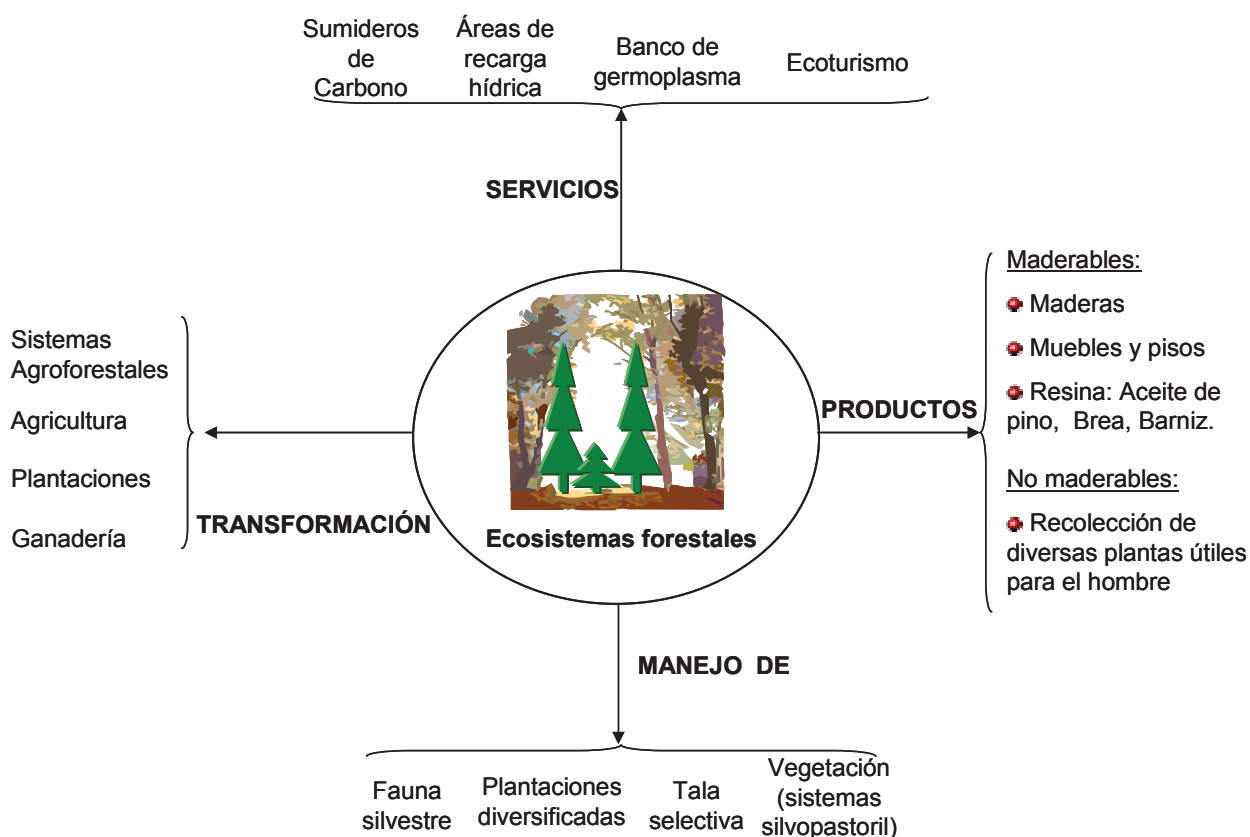


Figura 5. Manejo integral de los recursos naturales, con base en el aprovechamiento forestal (Modificado de Primack *et al.*, 2002).

En México, el concepto de Servicios Ambientales Forestales consiste en reconocer los servicios asociados al bosque y retribuir al que garantiza su conservación y desarrollo. La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable en su artículo 7º, define servicios ambientales, como los satisfactores que brindan los ecosistemas forestales, tales como la provisión del agua en calidad y cantidad; captura de carbono, de contaminantes y componentes naturales, la generación de oxígeno; el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales, la modulación o regulación climática, la protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida, la protección y recuperación de suelos, el paisaje y la recreación, entre otros (CONAFOR, 2003).

Los servicios ambientales se pueden pagar mediante Certificados Forestales dirigidos a propietarios que ejecuten proyectos de reforestación, manejo del bosque y/o protección del bosque.

México ya cuenta con algunas experiencias exitosas en cobro y pago de servicios ambientales, mismos que están comenzando a tener un efecto multiplicador, tales como el caso del proyecto “Scolel Té” en Chiapas y Coatepec en Veracruz.

1.8. El papel de los bosques en el Cambio Climático

La biosfera desempeña una importante función en la regulación de los ciclos biogeoquímicos, como el del carbono, debido a los procesos fotosintéticos, por lo que los bosques son importantes en la dinámica del carbono (flujos y almacenes). Diferentes autores (IPCC 1992, 1995; Montoya *et al.*, 1995), aseveran que el dióxido de carbono (CO₂), es uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmósfera derivada del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo, ocupa el segundo lugar en el ámbito mundial, con una fuerte contribución de las zonas tropicales. Según la FAO (2001), la deforestación mundial anual se calcula en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 a 2 GtC⁹; lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales.

El papel que cumplen los ecosistemas forestales dentro del cambio climático es de gran importancia, por lo que es imprescindible que se reconozca la importancia de los bosques como mitigadores y sumideros de GEI's en el CCG. La posibilidad de reducir las emisiones de carbono y aumentar los sumideros mediante el cultivo de los bosques, ha provocado que la atención se dirija hacia estos ecosistemas como un mecanismo, para luchar contra el calentamiento global.

Los procesos actuales, como deforestación, desertificación y degradación de los ecosistemas forestales, promueven la pérdida de la capacidad de almacenamiento y

⁹ Gt C= Gigatoneladas de Carbono. 1 Gton =10⁹= 1 x 10¹⁵ gramos.

fijación del C, es por ello que para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático, es imprescindible por una parte, conocer la dinámica del C en los ecosistemas forestales y por otra, las modificaciones a los flujos de C, derivadas de los patrones de cambio de uso del suelo. Un primer paso, indispensable para lograr este objetivo, es contar con la información básica sobre los contenidos de carbono en los diferentes almacenes del ecosistema (Ordóñez, 2002).

Los principales almacenes de carbono en los ecosistemas forestales, son la vegetación, el mantillo y el suelo. La vegetación, es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico, por medio de la fotosíntesis.

Los bosques del mundo (templados y tropicales), capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo (Apps *et al.*, 1993; Brown *et al.*, 1993; Dixon *et al.*, 1994), En la Figura 6, se puede observar el intercambio de carbono que se presenta entre la atmósfera y la biosfera, donde se muestran las fuentes y sumideros en los ecosistemas terrestres (la vegetación) y los marinos, los cuales tienen ciclos naturales muy bien definidos que permiten el intercambio del CO₂ (flujos y almacenes), pero las actividades humanas rompen estos balances, por el uso de combustibles fósiles y deforestación.

De igual manera, el suelo desempeña un papel muy importante en el ciclaje y almacén del carbono en estos ecosistemas. Como ejemplos de la influencia global de los procesos del suelo, están los productos de la desnitrificación, tales como N₂O, N₂, así como los producidos por la descomposición de la materia orgánica del suelo, como el CO₂, CH₄ y otros gases asociados al ciclo del C (Melillo *et al.*, 1989; Mosier *et al.*, 1991). El suelo tiene una gran capacidad de "secuestrar" C (Post *et al.*, 1990; Johnson, 1992), ya que puede acumularlo por miles de años (Schlesinger, 1990).

Fuentes y sumideros de carbono

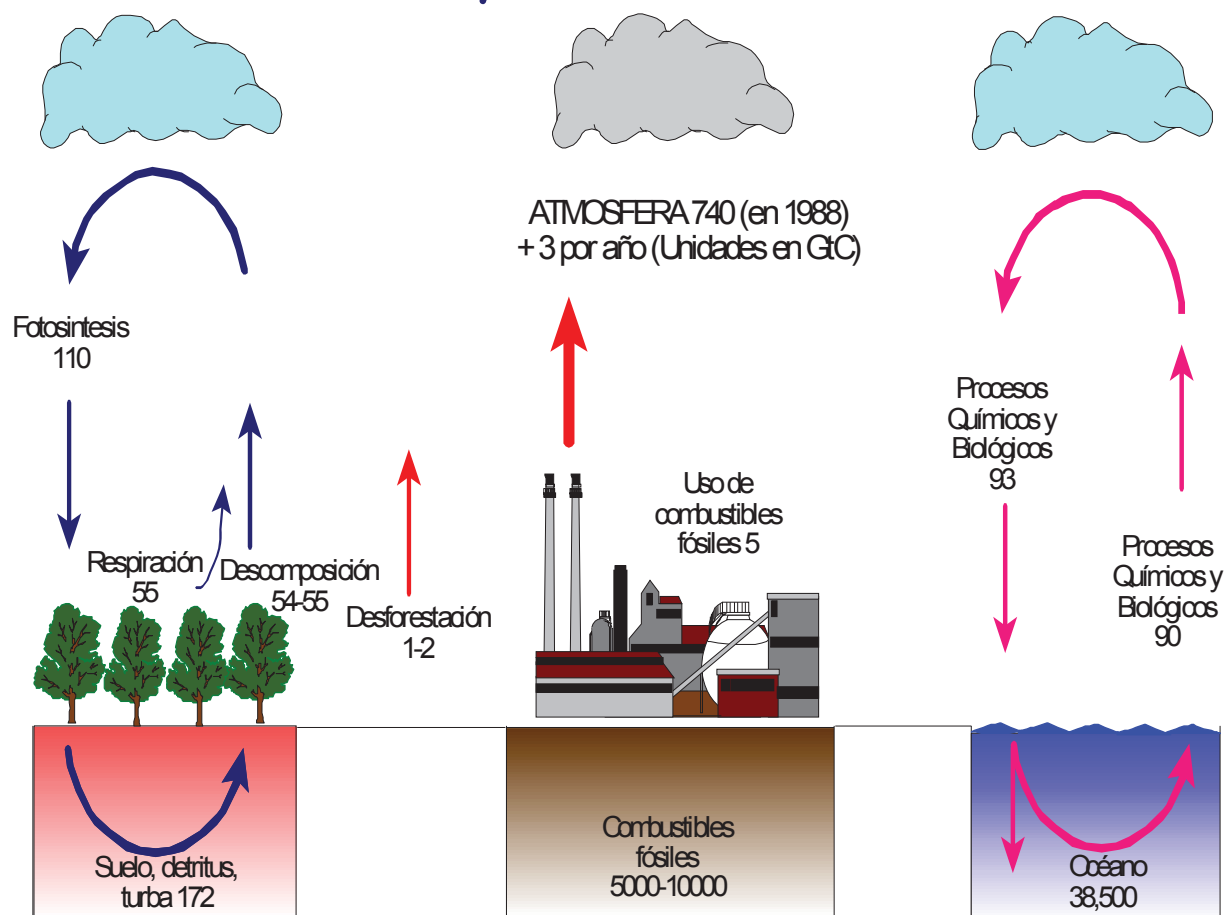


Figura 6. Fuentes y Sumideros (Tomado de Ordóñez, 1998)

Sin embargo, en México no se cuenta con una información detallada de los almacenes de C por tipo de ecosistema y uso del suelo, ni tampoco de los flujos netos de C, derivados de los patrones de cambio de uso del suelo a escala regional. Hasta el momento, los pocos estudios, que existen se han concentrado en los ecosistemas tropicales (Ordóñez, 1999). La información es especialmente deficiente para los bosques templados del Centro y Sur de México, los cuales sufren actualmente un acelerado proceso de deforestación y degradación, con tasas de cambio comparables a las de las selvas del país (Masera, 1996).

No obstante, es posible reducir las emisiones, con la sustitución de combustibles fósiles por leña proveniente de bosques manejados en forma sostenible, la sustitución de productos de madera de corta vida por productos de madera de larga vida, o la sustitución de materiales que requieren alta energía para su creación (e.g., acero) por productos derivados de los bosques como es la madera (Brown *et al.*, 1996).

El presente estudio, pretende contribuir a resolver varias interrogantes, planteadas anteriormente mediante un análisis detallado del contenido de C, asociado a los bosques templados. El Ejido de San Pedro Jacuaro resultó idóneo para el proyecto, pues presenta un manejo adecuado y bosque natural en buen estado, además de que se cuenta con el apoyo de la comunidad.

CAPITULO 2

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. Hipótesis

Que el servicio ambiental, Captura de Carbono (CC), sea una posible alternativa de manejo y conservación de los recursos forestales y tenga un uso sustentable en la actividad forestal.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. Objetivos generales

- ❖ Realizar una estimación del contenido de carbono en biomasa aérea, en el Ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México.
- ❖ Proponer la metodología aplicada, para la utilización en tipos de vegetación similares en Michoacán, México.
- ❖ Estimar el potencial de captura de carbono en el área de estudio.

2.2.2. Objetivos particulares

- 1.- Rodalizar y estimar las superficies forestales del Ejido de San Pedro Jacuaro.
- 2.- Realizar un inventario forestal a fin de cuantificar el volumen en m³ de madera.
- 3.- Calcular y estimar el contenido de carbono por superficie total y por hectárea en biomasa aérea.
- 4.-Generar posibles escenarios de manejo y conservación del área, tomando en cuenta el servicio ambiental forestal de captura de carbono.

CAPITULO 3

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra de las coordenadas extremas UTM 320,000 latitud norte con 2191,000 longitud oeste, y 327,500 latitud norte con 2180,000 longitud oeste, en la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico y la subprovincia Mil Cumbres a una altura de 1500-3000 m snm (Figura 7). El área cuenta con una superficie aproximada de 1860 hectáreas.

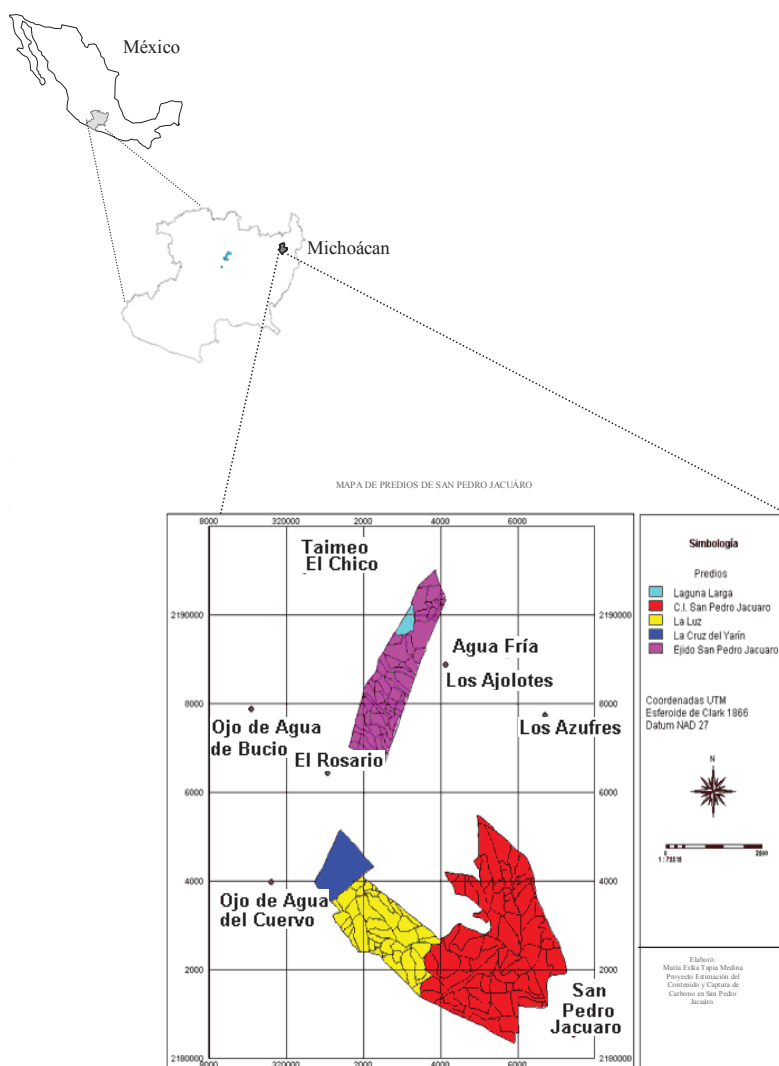


Figura 7. Ubicación del área de estudio: San Pedro Jacuaro, municipio de Ciudad de Hidalgo, Michoacán.

3.1.1. Límites

Al Norte con los municipios de Queréndaro, Zinapécuaro y Maravatío, al Este con Irimbo, Tuxpan y Jungapeo, al Sur con Tuzantla y Tzitzio, al Oeste con Tzitzio, Queréndaro, Zinapécuaro.

3.1.2. Geología

El origen geológico de la zona data del Plioceno-Pleistoceno (Carranza, 1987) y esta ubicada en un caballete tectónico, limitado por el graben de Cuitzeo, al E por el de Maravatío-Tuxpan, al S por el de Ciudad Hidalgo y al W por el de Huajúmbaro-Zinapécuaro. Su relieve lo conforma el Sistema Volcánico Transversal, la sierra de Mil Cumbres, Sierra de San Andrés y los cerros El Fraile, Azul, San Andrés, Ventero, Chinapo, Pedregoso, Zacatonal, Prieto, Pelón, Tortuga, Pinal, Bellota, Guangoche, Blanco, principalmente (Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, 2003).

3.1.3. Suelos

Los suelos que predominan en el área de estudio son: Andosoles, con las siguientes fases: Andosol húmico, Andosol vítrico, Andosol mólico, también Ránker, Luvisol, Vertisol, Acrisol, Litosol y Regosol calcárico. La vocación del suelo es forestal, pero actualmente está cambiando a uso agrícola, pecuario y zonas urbanas; aunado a lo anterior, la deforestación está ocasionando la desertificación de las áreas forestales (Gómez-Tagle *et al.*, 2005).

La Figura 8 muestra el perfil edafológico del área de estudio y la clasificación topográfica de la misma (Gómez-Tagle *et al.*, 2005).



5-3 cm	Horizonte orgánico crudo.
3-10 cm	Horizonte orgánico fragmentado
10-14 cm	Horizonte A que en húmedo tiene color negro (10YR2/1), con textura areno- limosa, pedregosidad aproximada del 2% con arens gruesas y gravillas (2 a 10 mm), pH neutro (6.90), la compactación es < de 0.5 kg/cm ² , estructura de microgranular a terrones muy pequeños, friable, no plastica y no adherente, raíces finas muy abundantes (50 a 100/dm ²) de los tres estratos; porosidad muy abundante, reacción al alofano fuerte, muy fuerte reacción al H ₂ O ₂ y transición clara y ondulada.
14-50 cm	En húmedo es de color gris muy oscuro (10YR3/1), arenoso, no pedregoso, de pH ligeramente ácido (6.75), con dureza de 1.0 kg/cm ² , estructura en bloques subangulares a granular, en húmedo es friable, no plástico y no adherente, mesoporos abundantes, raíces finas y medianas abundantes (10 a 25/dm ²), presenta algunas raíces carbonizadas, reacción al alofano fuerte, fuerte reacción al H ₂ O ₂ y transición al siguiente horizonte, tenue y ondulada.
50-68 cm	En húmedo es de color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), arenoso, con pequeñas y escasas motas ovales, de color naranja; con muy baja pedregosidad (< 2%), formada por gravas y gravillas de 2 a 20 mm; de pH ligeramente ácido (6.70), con dureza de 1.0 kg/cm ² , estructura poco desarrollada, parcialmente en microagregados y parcialmente bloques subangulares, pequeña; muy baja plasticidad y baja adherencia, mesoporos abundantes, raíces finas y medianas escasas (5 a 10/dm ²), correspondientes a los tres estratos, reacción al alofano muy fuerte; moderada reacción al H ₂ O ₂ y transición al siguiente horizonte, gradual y ondulada.
68-127 cm	En húmedo es de color negro (10YR2/1), presenta manchas de color pardo muy claro (10YR8/4) con límites difusos, cuyo tamaño va de 40 a 50 mm; arenoso limoso, no pedregoso, de pH ligeramente ácido (6.67), con dureza de 1.5 kg/cm ² , estructura parcialmente microgranular y parcialmente bloques subangulares pequeña; es friable, con baja adherencia y baja plasticidad, micro y mesoporos muy abundantes, raíces finas escasas (5 a 10/dm ²), reacción al alofano fuerte, baja reacción al H ₂ O ₂ presenta manchas muy escasas (< del 2%) de color gris muy oscuro, ubicadas entre los peds y que tienen una reacción fuerte al H ₂ O ₂ y transición al siguiente horizonte, tenue y ondulada.
127-145 cm	En húmedo se presentan dos colores, uno pardo oscuro (10YR3/3) y el otro es de color blanco (10YR8/2); arenoso limoso, con pedregosidad inferior al 1%, constituido por arenas gruesas y gravillas de 1 a 5 mm; de pH ligeramente ácido (6.74), con dureza de 2.0 kg/cm ² , estructura microgranular con presencia pocos bloques subangulares, pequeña; es friable, con baja plasticidad y baja adherencia; mesoporos muy abundantes; raíces medianas y gruesas muy escasas (1 a 5/dm ²), reacción al alofano fuerte, baja reacción al H ₂ O ₂ y transición al siguiente horizonte, clara y ondulada.
145-192 cm	En húmedo se presentan dos colores, uno pardo oscuro (10YR3/3) y el otro es de color pardo muy pálido (10YR7/3); arenoso, con pedregosidad inferior al 1%, constituido por arenas gruesas (1 a 2 mm); de pH ligeramente ácido (6.68), con dureza muy elevada (>4.5 kg/cm ²), sin estructura; es friable, sin plasticidad ni adherencia; poros poco abundantes; raíces medianas y gruesas muy escasas (1 a 3/dm ²); reacción al alofano fuerte, sin reacción al H ₂ O ₂ .

Fuente: Gómez-Tagle *et al.*, 2005

Figura 8. Perfil del área de estudio y clasificación topográfica.

3.1.4. Hidrografía

La zona de San Pedro Jacuaro, se alimenta de un sistema hidrológico que nace en Laguna del Llano Grande y Presa Laguna Larga, que al unirse, forma el arroyo llamado San Pedro Jacuaro, el cual es importante en dicha población (García, 2002).

3.1.5. Clima

La formula climática de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), es Cb (w1)(w)(I'), que corresponde al clima templado suhúmedos, con temperatura media anual que oscila entre 12° y 18°C, con lluvias en todo el verano y precipitación anual entre 1,200 y 1,500 mm, llegando a registrarse 1,600 mm (Figura 9). La evaporación anual es de 652.6 mm y la presión atmosférica es de 730 de mm Hg (Gómez, 1988).

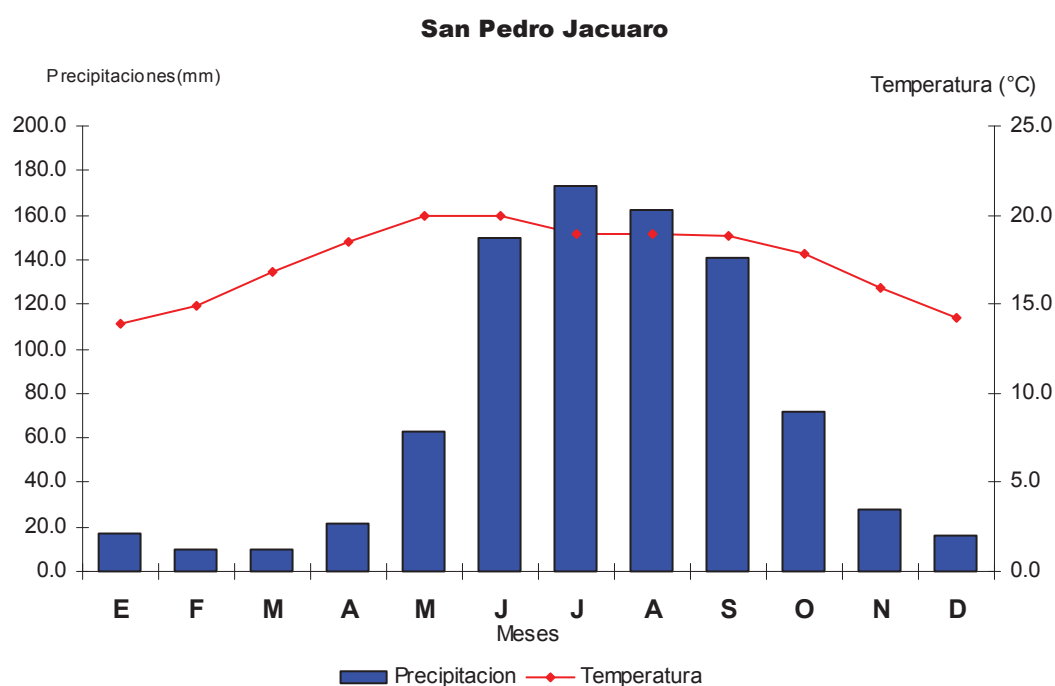


Figura 9. Diagrama Ombrotérmico de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México.

3.1.6. Vegetación

La vegetación para esta zona se compone principalmente de árboles siempre verdes, de hojas aciculares, lineares y latifoliadas. De acuerdo a la clasificación para la Republica Mexicana, propuesta por Rzedowski (1994), se puede definir tres comunidades que son: Bosque de Coníferas, Bosque de Encinos y Pastizal.



Bosque de Coníferas: Esta compuesta por especies de los géneros *Pinus* (Pino) y *Abies* (Oyamel), que dominan y cubren la mayor parte del área de estudio.



Bosque de Encino: Esta compuesta por especies del género *Quercus* (Encino), distribuidas por toda el área de estudio.



Vegetación Secundaria: Se limita a áreas provistas de arbustos, compuesta por el género *Baccharis*.

Como se muestra en la Cuadro 5, en estas comunidades vegetales se pueden encontrar diferentes asociaciones importantes en el área de estudio, dependiendo de las variaciones microambientales de dicho lugar.

Cuadro 5. Comunidades vegetales y otras asociaciones importantes

Asociaciones	Definición
Bosque de Pino-oyamel	Es la asociación más extensa y ocupa la mayor parte del área de estudio y esta formada por algunas especies representativas como el <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Abies religiosa</i> .
Bosque de Pino-encino	Incluyen las especies de árboles de <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Quercus laurina</i> , <i>Q. castanea</i> , <i>Q. crassifolia</i> , <i>Q. magnoliifolia</i> , <i>Q. martinezii</i> , <i>Q. obtusata</i> y <i>Q. rugosa</i> .
Bosque de Pino-encino-oyamel	En esta asociación destacan las especies de <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Q. lauriana</i> , <i>Q. obtusata</i> , <i>Q. rugosa</i> y <i>Abies religiosa</i>
Bosque de Pino	Incluyen especies de <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. michoacana</i>
Bosque de Encino	Se denominan así a las comunidades en las cuales las especies arbóreas dominantes o codominantes pertenecen al género <i>Quercus</i> , y las especies que inciden en el área de estudio son: <i>Q. castanea</i> , <i>Q. crassifolia</i> , <i>Q. magnoliifolia</i> , <i>Q. martinezii</i> , <i>Q. obtusata</i> y <i>Q. obtusata</i> , <i>Q. rugosa</i>
Vegetación Secundaria	Su distribución ha proliferado en todo la zona de estudio, debido a la acción antropogénica (Asentamientos humanos, agricultura y deforestación). Las especies más comunes son arbustos de los géneros <i>Baccharis</i> , <i>Senecio</i> , <i>Lupinos</i> y principalmente de las familias Compositae, Graminea y Labiatae.

3.1.7. Fauna

En un estudio realizado por la U.M.S.N.H.–C.F.E (1985), para el área de estudio mencionan que dicha área destaca por su abundancia y diversidad faunística, como son los insectos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. En la entomofauna se encuentran representados por las familias: *Acrididae*, *Aphidae*, *Blatidae*, *Danaidae*, *Formicidae*, *Labiidae*, *Libellulidae*, *Mucidae*, *Nymphalidae*, *Scarabaeidae*, *Sciaridae*, *Vespidae*, *Gryllacrididae*, *Mantidae*, *Pentatomidae*, *Pseudocaeciliidae*, entre otras.

Anfibios: Esta representado por las familias *Ranidae*, *Leptodactylidae*, *Ambystomidae*.

Herpetofauna: Familia *Iguanidae*, *Elapidae*, *Colubridae* y *Crotalidae*.

Aves: *Falconidae*, *Cuculidae*, *Trochilidae*, *Turdidae*, *Picidae* y *Tytonidae*.

Mastofauna: Está representada por las especies de *Microtus mexicanus*, *Oedocoileus virginianus*, *Sciurus oculatus* y *Sylvilagus floridanus* entre otras especies.

3.1.8. Agricultura

Los principales cultivos son el maíz, trigo, jitomate, haba y ajo que representan el 12% de su actividad económica. En la fruticultura se produce durazno, manzana, membrillo, capulín, maguey pulquero, perón, aguacate, granada roja, zapote blanco y chabacano, representa el 5% de la actividad económica (Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, 2003).

3.1.9. Ganadería

Se cría ganado avícola, bovino, porcino, ovino, caprino, caballar, asnal, mular, además de apícola. Representa el 5% de la actividad económica (Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, 2003).

3.1.10. Industria

Las ramas de la industria comprenden las siguientes actividades: Fabricación de alimentos, de productos metálicos (excepto maquinaria y equipo); muebles y accesorios (excepto de metal y los de plástico moldeado); industria y productos minerales no metálicos (excepto petróleo y carbón mineral); prendas de vestir y artículos confeccionados con textiles y otros materiales, industria del papel y de productos de hule y plástico. Representa el 30% de la actividad económica (Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, 2003).

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Materiales

Los materiales utilizados consistieron de lo:

- ✚ Una cuerda graduada de 25 metros de longitud, para el trazado de los círculos de 17.84 m de radio compensado con la pendiente.
- ✚ Clinómetro para determinar la inclinación del terreno y la altura de los árboles.
- ✚ GPS, para obtener las coordenadas (Latitud y longitud) en UTM y ubicación de cada sitio.
- ✚ Banderas de señalización, para ayudar a la delimitación de los sitios de estudio.
- ✚ Forcípulas de 120 y 50 cm, para medir el DN (DAP) del estrato arbóreo.
- ✚ Vernier de 10 cm y cintas diamétricas para medir plántulas o arbustos de pequeña talla.
- ✚ Tablas y formatos para captura de datos.
- ✚ Brújula, para la ubicación de los puntos cardinales.
- ✚ Altimetro, para saber la altitud los sitios de estudio.
- ✚ Cintas métricas de 50 y 100 metros, para medir la distancia del vértice al centro del área de muestreo y compensar la cuerda en el radio del círculo.

3.2.1 Métodos

La localidad de estudio se ubicó en tres predios y un cuerpo de agua llamado "Laguna Larga", pertenecientes a la comunidad de San Pedro Jacuaro, en donde se realizaron 11 muestreos (con siete repeticiones de 1000m² cada uno) con un total de 7.7 ha. Los muestreos se ubicaron dentro de los predios La Luz, La Cruz del Yarín, Ejido San Pedro Jacuaro y Comunidad Indígena San Pedro Jacuaro.

El presente proyecto se desarrolló incorporando dos métodos: El primero para la obtención de la superficie de cada predio usando un sistema de información geográfica (Bocco *et al.*, 1991) y el segundo es para estimar el contenido de carbono en cada sitio de muestreo (Brown y Roussopoulous, 1974; Ordóñez, 1998, 1999 y 2000).

Mediante un sistema de información geográfica (SIG), que es un conjunto de programas y equipos de computación que permite el acopio, manipulación y transformación de datos espaciales de mapas, imágenes de satélite y no espaciales ("atributos" provenientes de varias fuentes, temporal y espacialmente diferentes), con el objeto de obtener la superficies del área de estudio, así como para registrar los sitios de muestreo, cuyo objetivo de un SIG, es el de contribuir con información para la toma de decisiones.

Un SIG consta básicamente, de un subsistema de captura de datos; un subsistema de almacenamiento y manejo de datos (constituidos por varios bancos de datos); un subsistema de análisis y modelamiento y un subsistema de salida. El elemento definitivo de un SIG, es su capacidad de análisis y modelamiento y ello lo distingue de los sistemas de cartografía automatizada.

Los datos espaciales, se obtuvieron a través de la digitalización del mapa de predios que componen el área de estudio. Este es el proceso por el cual, los datos se convierten del formato analógico (mapa) a un formato digital, legible por el sistema computarizado. Estos datos se acumularon y manejaron en bancos de datos

vectoriales, conformados por puntos, segmentos y polígonos, referenciados a un sistema de coordenadas del mundo real en el programa de Idrisi 32.

Los polígonos se utilizaron para representar las unidades de paisaje (ecológicas, geomorfológicas, rodales, predios). Los datos vectoriales están relacionados entre sí en el banco de datos, de acuerdo con un modelo topológico ya seleccionado, con el propósito de facilitar su combinación con otros datos digitales y el análisis y modelamiento de acuerdo a fines específicos; los datos vectoriales se transforman en formato de celdas (o raster). Esta operación se denomina vector-celda (celdarización). Del mismo modo que las imágenes de satélite, los archivos del banco de datos en celdas son estrictamente matrices, cuyos valores refieren unidades espaciales codificadas y referenciadas al sistema de coordenadas seleccionado.

Los atributos de las unidades espaciales se capturaron, almacenaron y analizaron en bancos de datos tabulares, constituidos por cuadros, donde cada columna es un atributo. De aquí se sigue con el proceso de celdarización del mapa de predios, que al digilizarse normalmente genera información tabular relativa a las unidades "polígonos" que los conforman, con el fin de obtener el valor de la celda (pixel), el número total de celdas para cada valor, el área total de los polígonos, así como su perímetro, que en conjunto conforman los atributos básicos del cuadro correspondiente a cada mapa celdarizado.

Una vez obtenidos los cuadros correspondientes a cada mapa, se almacenaron los atributos en columnas, para cada una de las unidades espaciales. Cada polígono es una unidad mínima a la cual se refiere la información obtenida en el campo, el laboratorio u otras fuentes. Por medio de estas manipulaciones del SIG, los atributos contenidos en las columnas sustituyeron a los atributos originales de los polígonos del mapa y se obtuvo así un nuevo mapa, que muestra la distribución espacial de los rodales (atributo considerado en cada columna).

Una vez terminado este primer proceso, se dio lugar a la segunda metodología, en la cual se realizó, la estimación del contenido de carbono en cada sitio.

3.2.2. Estimación del contenido de carbono

La estimación del contenido de carbono es muy compleja, pues tiene que tomar en cuenta la dinámica del ciclo del carbono en el ecosistema forestal; es decir, que para realizar dicha estimación, es necesario analizar todos y cada uno de los componentes que integran el ecosistema forestal. Para estimar el carbono contenido en los diferentes almacenes del bosque, se parte de la siguiente ecuación:

$$Ct = Cv + Cm + Cs$$

Donde: Ct : carbono total almacenado

Cv : carbono contenido en la vegetación. Es la suma del carbono contenido en la biomasa aérea C_{BA} y el carbono contenido en las raíces C_{BR} .

Cm : carbono contenido en el mantillo u hojarasca.

Cs : carbono en el suelo es el carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal.

3.2.3. Biomasa aérea

Para estimar la biomasa aérea del bosque en este estudio, se identificaron once sitios de muestreo, que correspondieron a los diferentes tipos de vegetación, identificados en un recorrido previo del área. En cada uno de los sitios se establecieron tres círculos (Figura 10) de $1,000m^2$ con un radio de 17.84 m compensado con la pendiente.

En cada círculo se midió el diámetro normalizado (DN a 1.3 m antes conocido como diámetro de altura del pecho DAP) de todos los árboles, registrando la información en formatos sugeridos por Ordóñez (2002) modificado de Brown y Roussopoulos

(1974), SARH (1995), Brown y Delaney, (2000); en el círculo interior se establecen tres cuadros equidistantes (Figura 9) de 1m por 1m. Donde se colectan las herbáceas y arbustivas (se mide su cobertura y altura, se colectan y se determina su biomasa –muestra secada a 80°C por tres días- y se relaciona con el área muestreada para extrapolar el valor en gramos de muestra por ha) dentro de los cuadros de 1m, se establece un cuadro de 0.5m por 0.5m donde se colecta el mantillo y se determina su biomasa; se despeja el horizonte 00 del suelo y se procede a tomar 3 muestras de suelo de 0 a 30 cm de profundidad por cuadro (cabe señalar que en el presente estudio, no se hizo la determinación de carbono contenido en el mantillo y el suelo, que son motivo de otros estudios.

Para calcular el carbono contenido en la biomasa aérea C_{BA} , se organizaron los datos por rodal (e.g., 11 rodales o sitios) obtenidos en campo; con base en la altura y DN de 30 árboles en cada sitio. Con estos datos (e.g., 240: 141 de pino y 99 de encino) se obtuvo un modelo de regresión logarítmica para calcular la altura de los árboles a los que solamente se les midió su DN. Una vez obtenida la altura se sustituyeron los valores en las ecuaciones¹⁰ 1 y 2 para pino y 3 y 4 para encino (dependiendo de cada caso):

$$P = 0.084 * DN^{2.47} \dots\dots\dots(1)$$

$$P = 0.084 * (DN^2 A)^{0.919} \dots\dots\dots(2)$$

$$E = 1.91 * DN^{1.782} \dots\dots\dots(3)$$

¹⁰ Las ecuaciones para calcular la biomasa aérea en pino y encino, se tomaron de Ayala (2001), porque permiten hacer una estimación directa de la cantidad de biomasa en pinos y encinos, ya que dichas ecuaciones fueron obtenidas de mediciones de árboles derribados, medidos en su totalidad (ramas, follaje y fuste), pesados en fresco y en seco, se generaron diferentes ecuaciones alométricas y para el presente estudio, se usan las de biomasa total para pino y para encino; al usar dos ecuaciones por género, se realiza una estimación alta y una baja.

$$E = 0.283 * (DN^2 A)^{0.807} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

P = Pino

E= Encino

DN = Diámetro normalizado

A = Altura

Estas ecuaciones representan una estimación alta y una baja para pinos y para encinos, ya que la primera ecuación contempla solamente el DN y la segunda contempla el DN y la altura, de esta forma se puede precisar un valor en el carbono contenido en la biomasa aérea (C_{BA}).

Para calcular el carbono en las raíces (C_{BR}), se multiplicó el carbono contenido en la biomasa aérea (C_{BA} de las estimaciones: alta y baja para pino y para encino) por el factor correspondiente tomado del manual del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2001; e.g., de 0.18), cabe señalar que también se pueden usar factores de expansión sugeridos por Cairns (1997), dichos factores permiten ajustar el valor de la biomasa total, es decir se incorpora un porcentaje de lo que se ha estimado en otros estudios de la biomasa del follaje y las raíces, pero para los fines del presente estudio, es preferible usar el factor más reciente, es decir:

$$C_{BR} = C_{BA} \times 0.18$$

Carbono en el mantillo (C_m)

Las muestras colectadas de mantillo fueron secadas y pesadas individualmente. El carbono contenido en el mantillo (C_m) se obtuvo multiplicando su peso seco por la concentración de carbono en materia seca (50%).

$$C_m = \text{Peso seco} \times 0.50$$

Carbono en el suelo (Cs)

Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico, se secaron durante tres días a 80°C, se pesaron y se les determinó la densidad aparente; para cada sitio, se tomó una muestra y se pulverizó, tomando una alícuota de 5-10 gramos para procesar en el TOC (Testing Organic Carbon, por sus siglas en inglés) a fin de determinar con precisión el contenido de carbono para cada muestra por sitio y los valores de contenido de carbono por unidad de área.

Para esta primera estimación, los valores del carbono contenido en suelo se tomaron de un estudio de referencia (Ordóñez *et al.*, 1998).

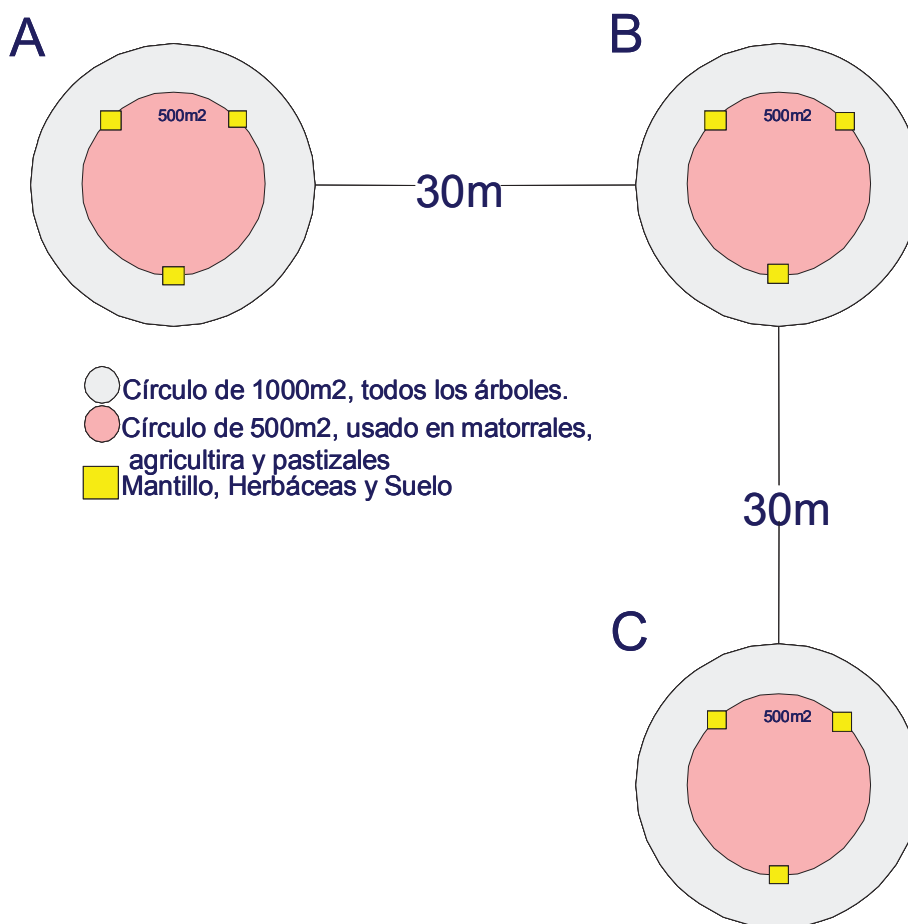


Figura 10. Diseño de muestreo de carbono en biomasa aérea.

Los datos registrados por género botánico, fueron sistematizados en una hoja de cálculo en el programa Excel (2000), a fin de estimar la biomasa aérea del bosque con relación al área de estudio.

3.2.4. Intensidad de muestreo

Para conocer la intensidad de muestreo requerida, se utilizaron el diámetro normalizado (DN) y la varianza de cada sitio.

El tamaño de la muestra fue establecido a partir de la siguiente formula:

$$N = \frac{t^2 (S\%)^2}{(E\%)^2}$$

N= Número de la muestra

t^2 = Valor de tablas de t de student.

$(S\%)^2$ = Coeficiente de varianza

$(E\%)^2$ = Error 5%

En el área de estudio se realizó un inventario en los 11 sitios de muestreo de 7.7 ha, que es un muestreo representativo de la superficie total (1,860 ha). Los sitios se distribuyeron de forma aleatoria en cada uno de los predios, con siete repeticiones (cada sitio formado por 7 círculos de 0.1 ha).

3.2.5. Dasometría

Los datos registrados para este trabajo, fueron los siguientes: a) diámetro normal (DN) de individuos mayores de 1.30 m de altura, cobertura y especies herbáceas; b) Coordenadas UTM, c) Altitud con GPS y altímetro, d) pendiente en porcentaje con clinómetro, e) Exposición en grados.

3.2.6. Parámetros estructurales

Los datos tomados en campo, permitieron el análisis del bosque, a partir de las densidades, área basal, estructura diamétrica y vertical. La densidad de árboles es un dato obtenido directamente en los muestreos.

El área basal es una medida del espacio horizontal ocupado y puede ser considerada para estimar el volumen y la biomasa de especies arbóreas o arbustivas (Tomado de Espinosa, 2005) y dominancia o abundancia de una especie en un sitio. En los árboles este parámetro se mide a partir del diámetro normal (DN) o el perímetro, como se indica a continuación:

$$AB = \pi (DN^2/4)$$

AB= Área basal (m²)

$$\pi = 3.1416$$

DN= diámetro normalizado (m)

Se obtuvieron ocho clases diamétricas, para la descripción estructural del bosque (Cuadro 6).

Cuadro 6. Clases diamétricas (DN) en los bosques de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México.

Clases	DN (cm)
1	<5
2	5.1-7.5
3	7.5-12.5
4	12.6-17.5
5	17.6-22.5
6	22.6-27.5
7	27.6-32.5
8	32.6-37.5
9	37.6-42.5
10	42.6-47.5
11	>47.6

En resumen, los parámetros necesarios para cuantificar el contenido y captura de carbono en la biomasa forestal por unidad de área, son los siguientes: volumen expresado en m^3 por ha, densidad de la madera expresado en t/m^3 , la biomasa (relación peso fresco- peso seco) expresado en %, contenido de carbono por género o especie expresado en % y el incremento corriente anual (ICA) expresado en $\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

3.2.7. Biomasa aérea

Los estratos arbóreo y herbáceo, son los principales almacenes de biomasa¹¹ y por lo tanto de carbono; su capacidad de almacenaje y captura, varía dependiendo de la comunidad vegetal de que se trate, el clima, humedad, la especie, calidad del sitio, fertilización, posición en la pendiente, altitud, exposición al sol, densidad del rodal, región geográfica, variación genética y cambios estacionales (Hernández, 2004); sin embargo, estos ecosistemas están desapareciendo debido a la presión que se esta ejerciendo sobre ellos por causas antrópicas. Y los principales componentes de la biomasa vegetal son: fuste de los árboles, ramas, corteza, follaje, estructuras reproductivas y raíces (Garcidueñas, 1987) (Figura 11).

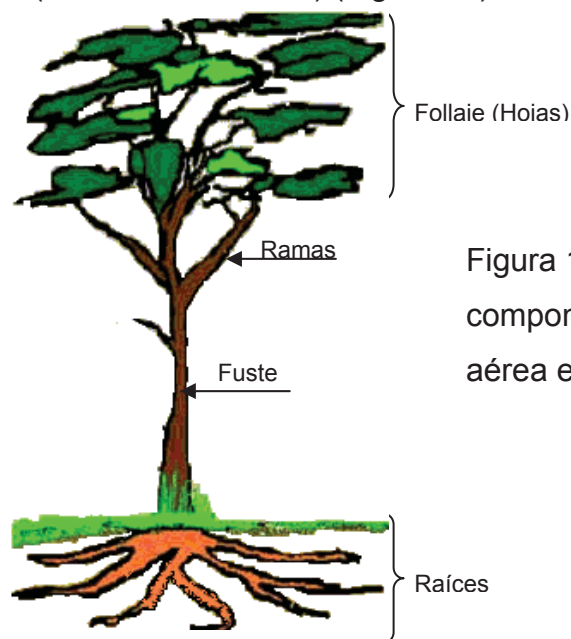


Figura 11. Principales componentes de la biomasa aérea en el estrato arbóreo

¹¹ Biomasa: Masa total de organismos vivos en una zona (IPPC, 2001).

Biomasa: Conjunto de materia orgánica que conforman un ecosistema, presente en los organismos vivos o muertos o segregados por ellos, pero ningún caso fósil (Tomado de Hernández, 2004).

Cuando se realiza la estimación adecuada del contenido de carbono en un bosque, la biomasa aérea es un elemento de gran importancia, debido a que permite determinar el contenido de carbono y otros elementos químicos en cada uno de los componentes, que constituyen la cantidad potencial de liberación y captura de carbono a la atmósfera, por lo tanto, se debe realizar un adecuado manejo de los bosques para alcanzar el compromiso de mitigar los gases de efecto invernadero (Espinosa, 2005).

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa de un bosque. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando luego su peso seco (como lo propone Ayala, 2001). Una forma de estimar la biomasa con el método indirecto, es a través de ecuaciones alométricas y modelos matemáticos, calculados por medio de análisis de regresión entre las variables obtenidas en el terreno y en inventarios forestales (Brown, 1997). Husch (2001) menciona que las técnicas para la estimación de la biomasa de árboles en pie y otra vegetación, no presenta grandes dificultades, debido que se puede estimar la biomasa en el área por medio del volumen del fuste, utilizando la densidad básica para determinar el peso seco y un factor de expansión para determinar el peso seco total del árbol.

3.2.8. Volumen

A partir de los datos estructurales de cada árbol, se puede calcular el Volumen, multiplicándose por el coeficiente mórfico (o factor de forma), utilizando la siguiente fórmula.

$$V=(AB)(h)(CF \text{ o } FM)$$

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$AB = \text{Área basal (m}^2\text{)}$$

$$h = \text{Altura (m)}$$

$$CF \text{ (coeficiente mórfico)} = FM \text{ (factor de forma)} = .75 \text{ en confieras y } 0.69 \text{ en latifoliadas}$$

3.2.9. Biomasa

Para determinar la biomasa del área de estudio, se multiplicó el volumen individual por la densidad de la madera y este resultado, por el número de individuos en una hectárea y finalmente por la superficie del bosque.

$$B=(V) (d)$$

B = Biomasa (t)

V = Volumen (m³)

d = Densidad de la madera

3.2.10. Incremento corriente anual (ICA)

Ordóñez (1999) define el ICA como el aumento volumétrico de un árbol, en cierto número de años; dicho crecimiento de la especie en cuestión, depende de la especie, edad, tipo de suelo, nutrientes, orientación, humedad, competencia, entre los principales factores bióticos y abióticos, que en su conjunto constituyen el término calidad del sitio.

La determinación del ICA por estrato, se obtuvo con el método de **Loetsch** (Fragoso, 2003), donde se ordenaron los datos en una hoja de Excel, para determinar el ICA (cuadro 7)

Cuadro 7. Metodología para el cálculo de incrementos.

Descripción del método de Loetsch	
Columna 1	Se anotan las categorías diamétricas.
Columna 2	Volumen tipo por árbol regular.
Columna 3	Diferencias de volúmenes por categorías diamétricas sucesivas.
Columna 4	Volumen para cada centímetro en diámetro, generado a través de la expresión $V/CM = (dv - a) + (dv - a)/10$ de donde: (dv.- a)= Diferencia de volumen entre la clase de interés a la anterior (dv.-a)= Diferencia de volumen entre la clase de interés siguiente a la posterior
Columna 5	Se anotan para la clase diamétrica, la media aritmética de los incrementos obtenidos en campo.
Columna 6	Se transforma el incremento anual en diámetro sin corteza, en incremento anual en diámetro con corteza, multiplicando la columna 5 por el factor de conversión, el cual resulta de dividir el diámetro con corteza entre el diámetro sin corteza. Nota: cuando los Cuadros de volúmenes se refieren a valores sin corteza, no será necesario hacer esta transformación, ya que directamente se relaciona el incremento con el volumen sin corteza.
Columna 7	Se calcula el incremento en volumen por árbol para cada clase diamétrica, multiplicando el incremento anual en diámetro (columna 6) por el volumen de un centímetro de diámetro de la clase diamétrica considerada (columna 4).
Columna 8	Se determina el porcentaje de incremento en volumen por árbol para cada clase diamétrica, multiplicando por 100 el cociente que resulta al dividir el incremento en volumen (columna 7) entre el volumen por árbol de la misma clase diamétrica (columna 2).
Columna 9	Se registra para cada clase diamétrica, el número de árboles que hay en la hectárea tipo, por el estrato que se este considerando.
Columna 10	Para cada clase diamétrica se obtiene el volumen por hectárea, multiplicando el número de árboles por hectárea (columna 9) por el volumen tipo de un árbol de esa clase diamétrica (columna 2).
Columna 11	Para cada clase diamétrica se obtiene el incremento en volumen por hectárea, multiplicando el número de árboles por hectárea (columna 9) por el incremento en volumen por árbol (columna 7).

Formula para obtener el ICA:

$$ICA.. \% = \frac{ICA..m^3 \cdot 100}{E.R./ha}$$

I.C.A; en m³, resulta de sumar los valores de la columna 11.

I.C.A; en %, resulta de dividir el ICA en m³ entre las E.R./ha. por 100.

E.R: Existencias reales

CAPITULO 4

4. RESULTADOS

Como primer resultado se obtuvieron los mapas y las superficies (Figuras 12, mapa general de todos los predios; Figura 13, mapa de los predios San Pedro Jacuaro, La Luz y La Cruz del Marín; Figura 14, mapa del predio Ejido de San Pedro Jacuaro; Cuadro 9, superficies de cada uno de los predios) de los predios propiedad de la Comunidad del Ejido de San Pedro Jacuaro y que en su conjunto constituyen el área de estudio. Este proceso permitió estimar la superficie total de San Pedro Jacuaro, que es de 1,860 ha, de las cuales hay 988 ha en el predio C.I. de San Pedro Jacuaro; 348 ha en el predio La Luz; 120 ha en el predio La Cruz del Yarín; 386 ha en el predio Ejido San Pedro Jacuaro y 18 ha en Laguna Larga (Cuadro 8). Este proceso se apoyó en un estudio de identificación de rodales, mediante un cotejo de campo usando puntos de control (sitios de muestreo) georeferenciados con un GPS (Geoposition system) modelo color track, marca Magellan.

Cuadro 8. Superficies de los predios que constituyen el área de estudio.

Nombre del Predio	Superficie ha
Ejido de San Pedro Jacuaro	988
La Luz	348
La Cruz del Marín	120
San Pedro Jacuaro	386
Laguna Larga	18
Superficie Total	1,860

Figura 12. El sitio de estudio se Ubico en 3 predios (con un área total de 1860 ha).

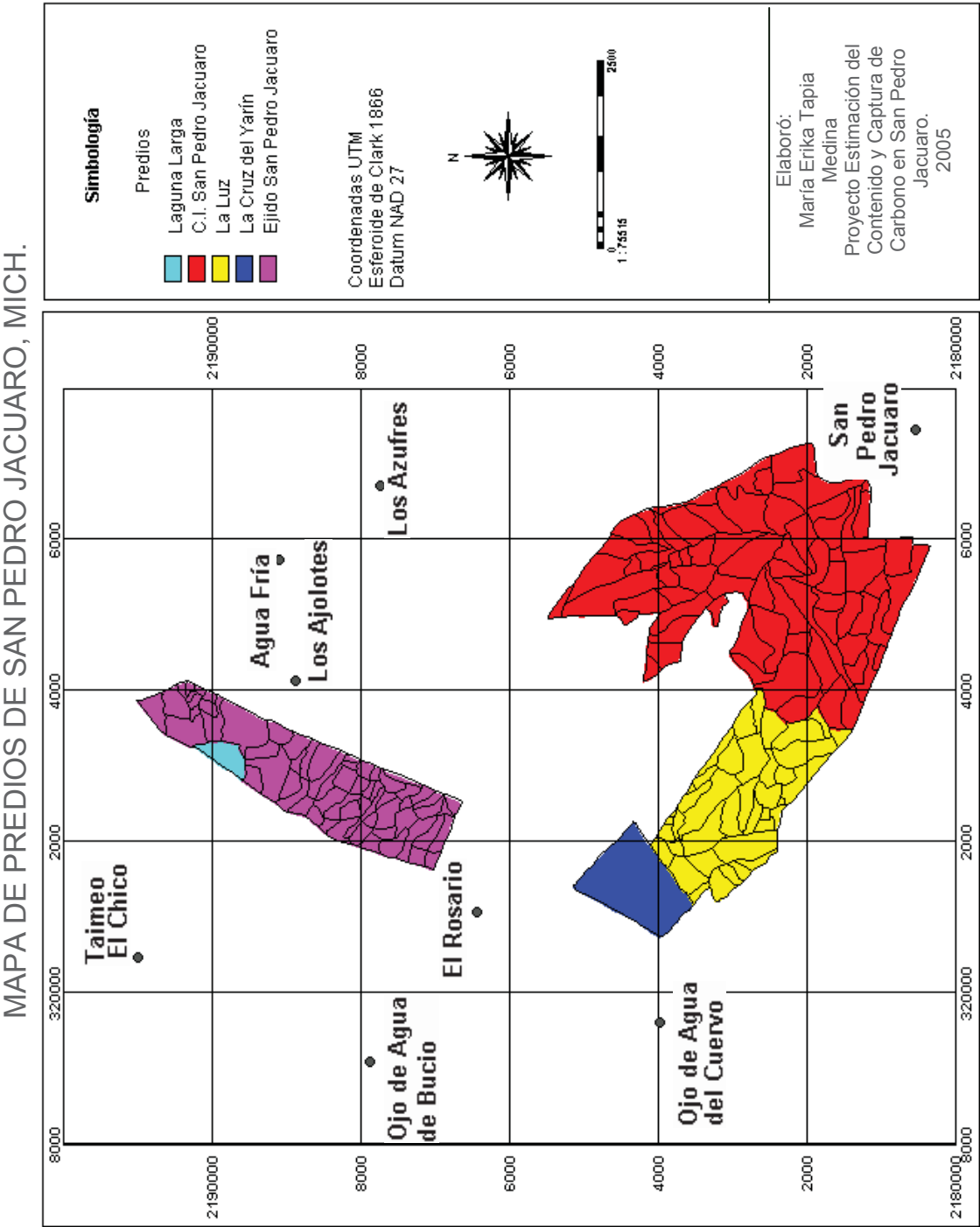


Figura 13. Mapa de los predios de San Pedro Jacuaro, La Luz y La Cruz del Marín, Michoacán, México.

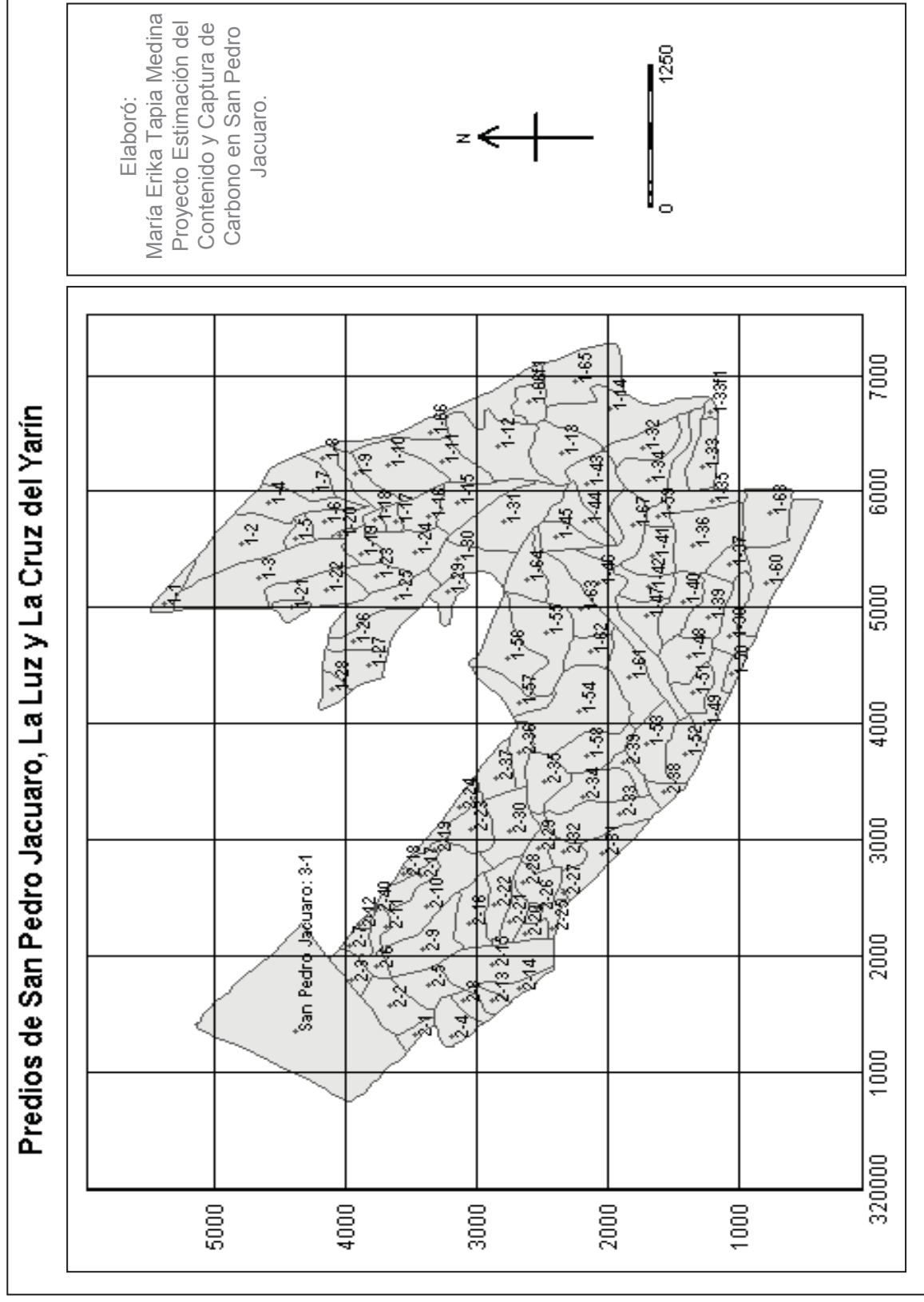
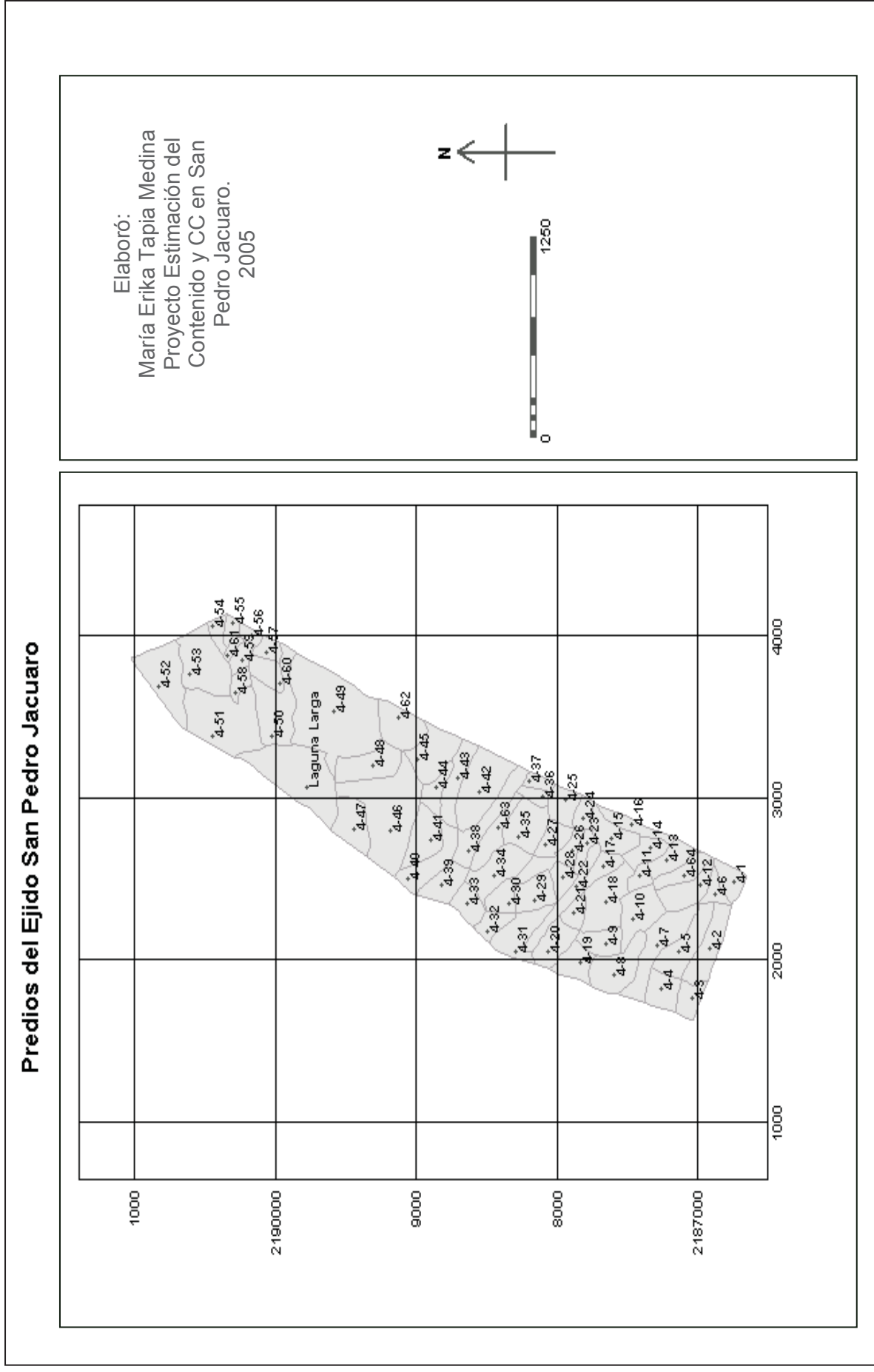


Figura 14. Mapa del ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México



4.1. Estimación del contenido de carbono

La estimación del carbono, en la vegetación del área de estudio, se calculó con una estimación alta y una baja: la estimación alta indicó un total de 215.0 tC/ha, mientras que la estimación baja indicó 184.3 tC/ha, lo que implica que hay 396,030 tC (estimación alta) y 339,480 tC (estimación baja) con un promedio de 367,737 tC en las 1,842 ha de San Pedro Jacuaro. Del total del carbono contenido por ha, el 60.0 % corresponde a la biomasa aérea, 28.2 % al suelo, 10.8 % a las raíces y el 1.0 % al mantillo.

4.1.2. Carbono en vegetación aérea (Cv)

La biomasa aérea comprende: el tronco, las ramas y el follaje; en el presente estudio, se obtuvieron dos estimaciones del contenido de carbono en la biomasa aérea: una alta y una baja.

La estimación alta, mostró valores de entre 71 a 198 tC/ha, con promedio de 129.1 tC/ha; la estimación baja varió entre 67 y 177 tC/ha, con promedio de 103.1 tC/ha (Figura 15).

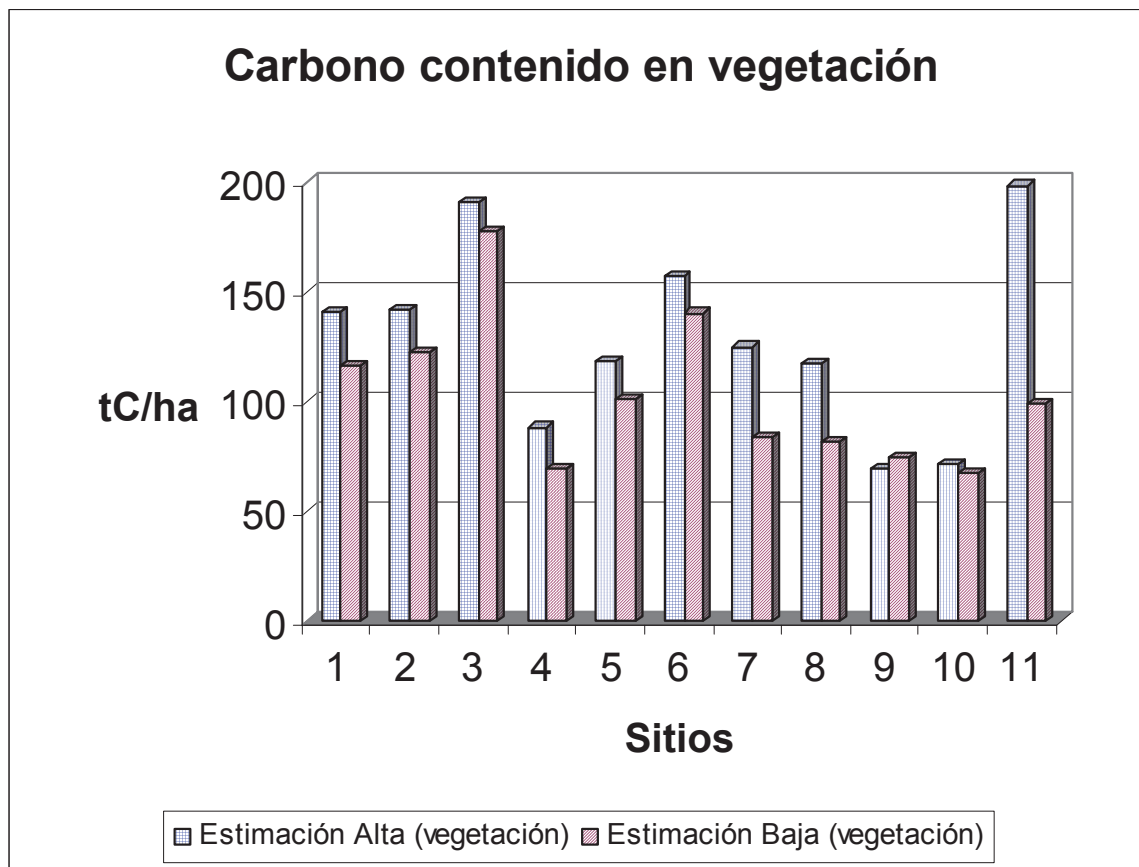


Figura 15. Contenido de carbono (tC/ha) en la biomasa aérea de la vegetación en los sitios de San Pedro Jacuaro, Michoacán.

4.1.3. Carbono en las raíces (Cr)

También en este caso, se obtuvieron dos estimaciones para el carbono en las raíces. La estimación alta mostró valores entre 12.5 y 35.8 tC/ha con un promedio de 23.2 tC/ha, mientras que la estimación baja varía entre 12.1 y 32.0 tC/ha, con promedio de 18.6 tC/ha (Figura 16).

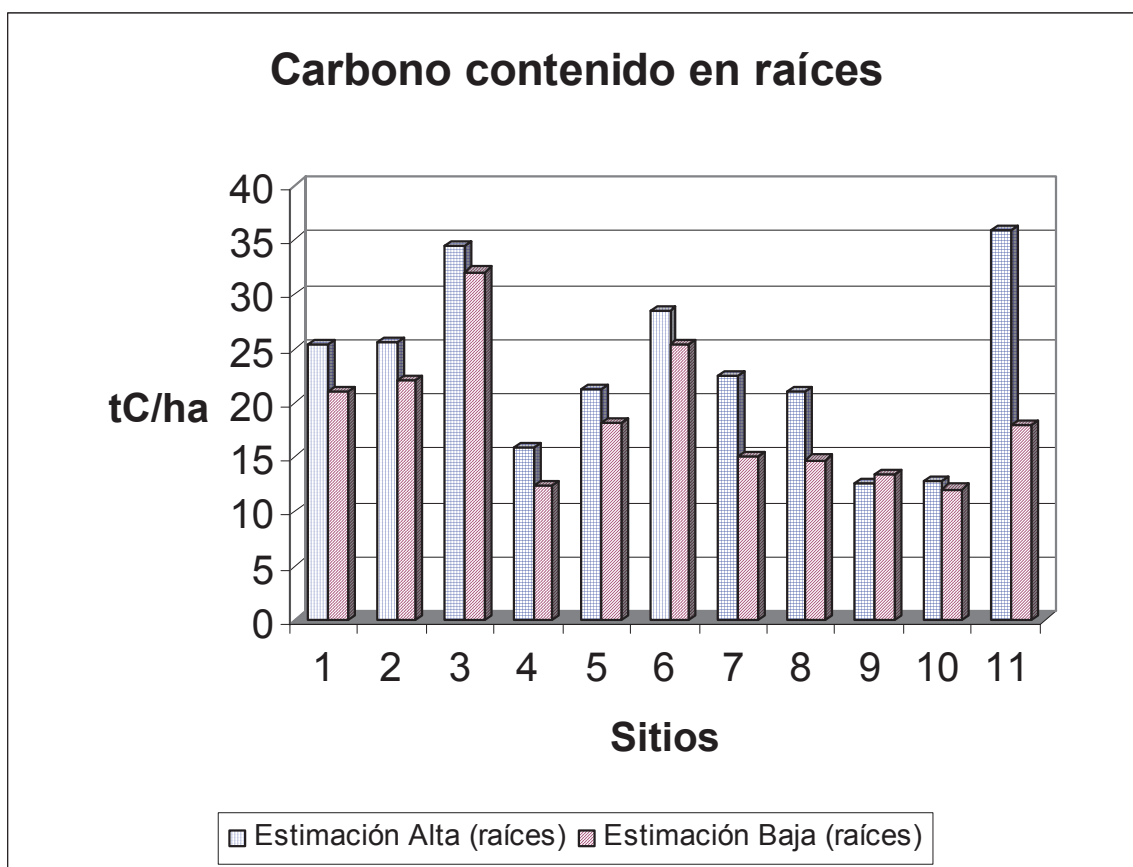


Figura 16. Contenido de carbono (tC/ha) en las raíces de la vegetación en los sitios de San Pedro Jacuaro, Michoacán.

4.1.4. Carbono en el mantillo (Cm)

La estimación del carbono contenido en el mantillo, varía entre 0.6 a 4.2 tC/ha, con un promedio de 2.0 tC/ha (Figura 17).

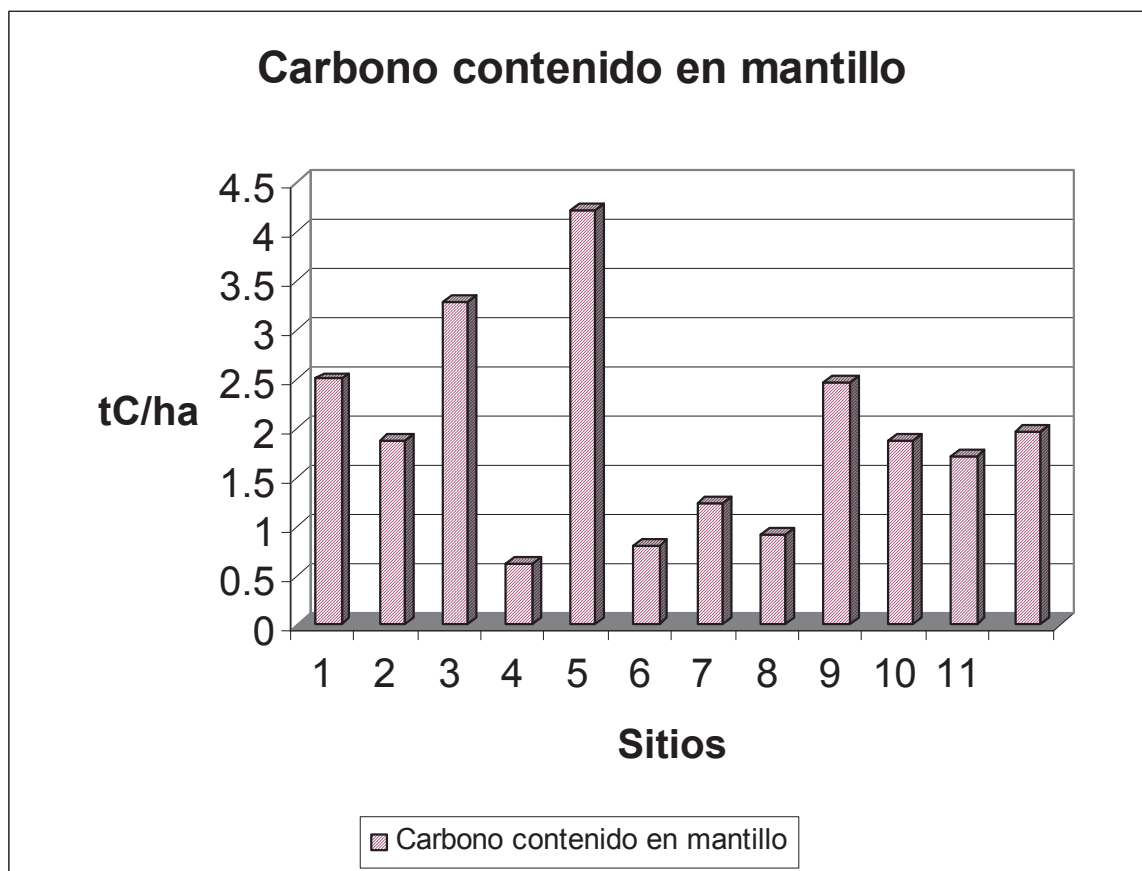


Figura 17. Contenido de carbono (tC/ha) en el mantillo en los sitios de San Pedro Jacuaro, Michoacán.

4.1.5. Contenido de Carbono en el suelo (Cs)

El carbono estimado en el suelo para los once sitios de muestreo en este estudio, indicó que los valores teóricos, varían de 47.0 a 81.0 tC/ha con promedio de 60.7 tC/ha (Figura 18).

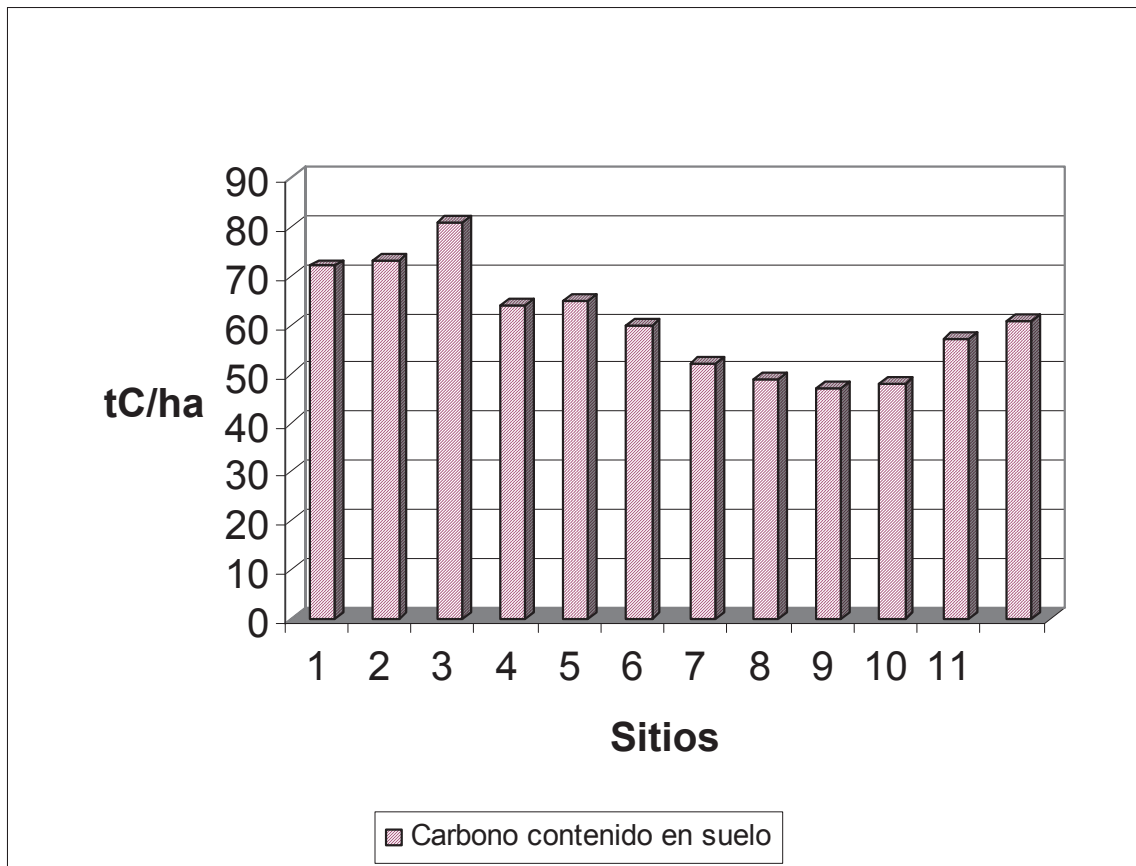


Figura 18. Estimación teórica del carbono contenido en suelo en cada uno de los sitios en San Pedro Jacuaro en tC/ha.

4.1.6. Estimación preliminar del contenido de carbono en San Pedro Jacuaro (Ct)

Para estimar el contenido de carbono en San Pedro Jacuaro como ecosistema, se calculó la superficie total de cada tipo de vegetación y se multiplicó por el promedio de carbono contenido en la vegetación.

La estimación del carbono contenido en el área de estudio, se calculó con una estimación alta y una baja: la estimación alta indicó un total de 215.0 tC/ha (Figura 19), mientras que la estimación baja indicó 184.3 tC/ha (Figura 20), lo que implica que hay 396,030 tC (estimación alta) y 339,480 tC (estimación baja) con un promedio de 367,737 tC en las 1,842 ha de San Pedro Jacuaro. Del total del carbono contenido por ha, el 60.0 % corresponde a la biomasa aérea, 28.2 % al suelo, 10.8 % a las raíces y 1.0 % al mantillo.

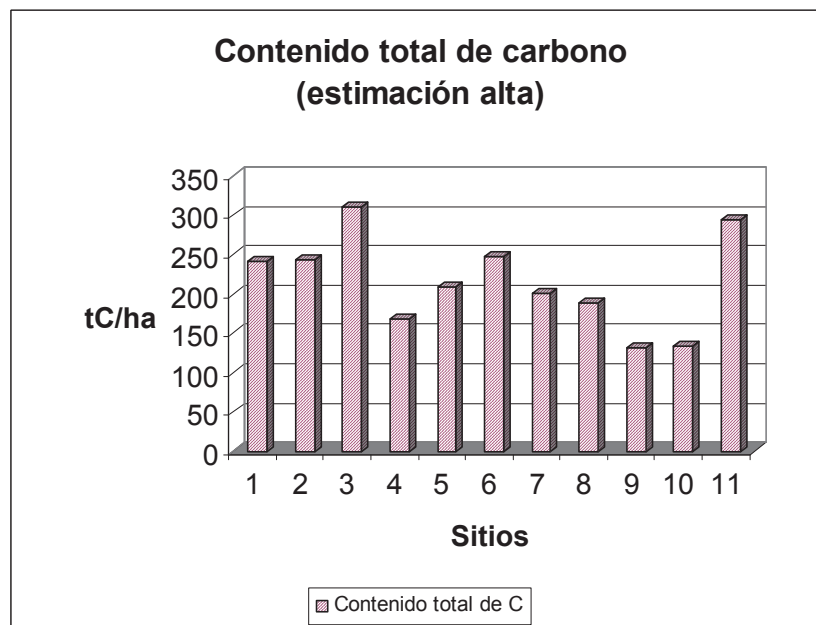


Figura 19. Estimación alta del contenido de carbono. Ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán.

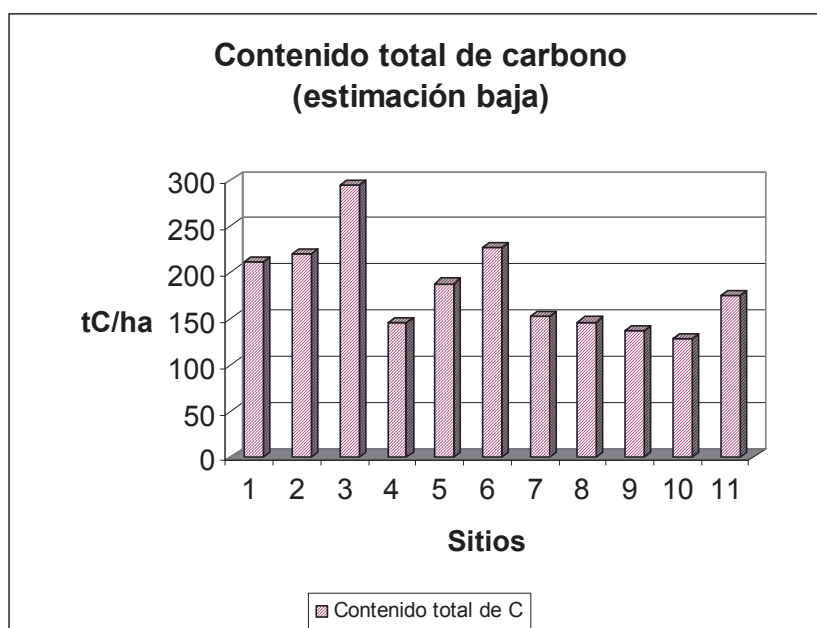


Figura 20. Estimación baja del contenido de carbono. Ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán.

Contenido de carbono para cada uno de los componentes (vegetación *Cv*, raíces *Cr*, mantillo *Cm* y suelo *Cs*) que se almacenan en el ecosistema forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México (Figura 21 y 22).

Estimación alta del carbono total tC/ha

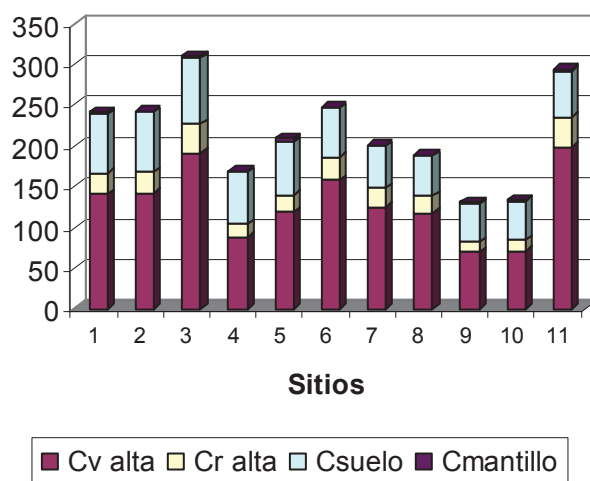


Figura 21. Estimación alta del contenido total de carbono por almacén.

Estimación baja del carbono total tC/ha

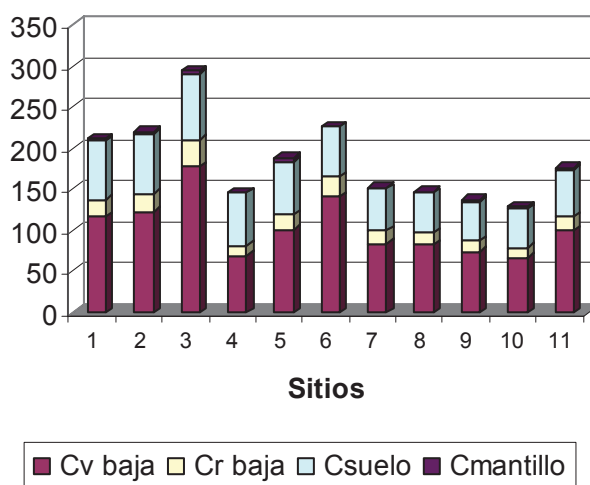


Figura 22. Estimación baja del contenido total de carbono por almacén.

5. DISCUSIÓN

Los bosques templados en México, se distribuyen en toda la Cordillera Volcánica Transmexicana, y prácticamente en todas las áreas montañosas (Rzedowski, 1978).

Para la estimación del contenido de carbono en el área boscosa, se elaboró un mapa base que permitió su delimitación, y estimar el área expresada en ha que ocupan las masas forestales.

Se midió el DN y altura de 200 árboles por género, para desarrollar una ecuación alométrica y retirar incertidumbres de sobre-estimaciones en el volumen de los árboles, sugerido por diferentes autores (Brown *et al.*, 1989; De Jong *et al.*, 1995; Cairns, 1997; IPCC, 1996 y 2003) para estimar el volumen expresado en m³ por ha en diferentes tipos de cobertura vegetal.

Para la estimación del contenido de carbono en un bosque, se requiere que se estime la biomasa. La estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un parámetro de gran importancia, debido a que permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos en cada uno de sus componentes; representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o almacenado en una superficie dada (Brown *et al.*, 1996; Rojas, 2004).

En este estudio se estimó la biomasa de los árboles en pie utilizando ecuaciones alométricas y volumétricas; se determinó la densidad de la madera de los géneros registrados, a fin de conocer el peso seco, aunado al uso de un factor en expansión de fustes (sugerida por el IPCC, 1996, 2003) para obtener la biomasa total del árbol.

Comparativamente con otras localidades de bosques templados donde se ha estimado la biomasa en toneladas, los valores mínimo y máximo obtenidos para este estudio se encuentran dentro de los rangos registrados (Cuadro 9).

Cuadro 9. Biomasa en bosques de pino, con valores mínimo y máximo en 0.1ha.

Autor	Especie	Localidad	Superficie (ha)	Biomasa en 0.1ha Mínima----Máxima
Zamora (2003)	<i>Pinus sp.</i>	Periban de Ramos, Michoacán	339	0.3-----35.6
Fragoso (2003)	<i>Pinus pseudostrobus</i>	Tancítaro, Michoacán	217	2.9 -----32.9
Rojas (2004)	<i>Pinus hartwegii</i>	La Malinche, Tlaxcala- Puebla	546	2.1-----32.6
Este estudio	<i>Pinus sp.</i>	San Pedro Jacuaro Michoacán	1860	6.7-----19.8

La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Rojas, 2004).

Llevar a cabo proyectos de este tipo, requiere contar con métodos de medición confiables, que cumplan con las exigencias establecidas por el IPCC (1996 y 2003), que sean eficientes para medir el contenido y la captura potencial de carbono (Rojas, 2004).

Se realizaron dos estimaciones del carbono almacenado en el estrato arbóreo del bosque de San Pedro Jacuaro; la estimación alta estima 237,802.2 tC y la estimación baja de 189,910.2 tC, como valores promedio, respecto de otros estudios comparativos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comparación de estudios de contenido de carbono en bosques templado-fríos en México.

Autor	Localidad	Vegetación	Contenido de carbono tC/ha
Ordóñez (1998)	Nuevo San Juan, Michoacán.	Bosque templado: <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Abies</i> .	63
Zamora (2003)	Periban de Ramos, Michoacán.	Bosque templado: <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> .	74
Fragoso (2003)	Tancítaro, Michoacán.	Bosque templado: <i>Abies</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> .	69
Rojas (2004)	Volcán La Malinche, Tlaxcala-Puebla.	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> .	100
Este estudio	San Pedro Jacuaro, Michoacán.	<i>Bosque de Pinus, Abies, Quercus.</i>	103.1 a 129.1

Las localidades de estudio de Ordóñez (1998), Zamora (2003) y Fragoso (2003), presentan manejo en algunos rodales, como aclareos y cortas; Rojas (2004), menciona que el área de estudio pertenece a un Parque Nacional y por ello no hay evidencias de un impacto muy severo derivado de actividades humanas; este ultimo estudio presenta un almacén de carbono diferente, respecto a los estudios de caso anteriores, debido a que la comunidad tiene muy claro el valor del bosque y cuida este recurso, por ello se aprecia que los valores del contenido de carbono por hectárea son mayores respecto a los otros estudios.

Rojas (2004) menciona que para hacer referencia a la captura potencial de carbono, se debe tomar en cuenta la edad y el crecimiento del bosque; por ello se estimó el ICA; se aprecia un crecimiento diferencial que puede deberse a diversos factores del sitio como la temperatura, precipitación, insolación, vientos, heladas, factores fisiográficos y las condiciones edáficas (pH, materia orgánica, textura y estructura del suelo), que son factores definen el potencial del crecimiento de acuerdo a las características genéticas de la especie (Monroy, 1996).

A partir de los parámetros de ICA, edad, densidad de la madera y biomasa se elaboraron escenarios de captura potencial de carbono a 5, 10, 15, 20, 25, 40 y 50 años. Cada escenario estima el carbono almacenado en el bosque en un año, bajo

las premisas de que no existiera manejo y que los elementos evaluados siguieran creciendo de manera estable.

Se encontró que el área, tiene un buen potencial de captura de carbono promedio de 1.4 tC/ha/año (en promedio 6.161 m³/ha/año).

Además, como se obtuvo la captura potencial de carbono por hectárea, es posible comparar los resultados con el estudio de Ordóñez (1998) y Rojas (2004), pues indican la captura en las mismas unidades (Cuadro 11).

En esta comparación, el trabajo de Ordóñez (1998), fue elaborado con el modelo de simulación CO₂FIX, donde se involucró un género y una sola especie, además de que la localidad donde se realizó el estudio, tiene un plan de manejo forestal, es por ello que se presentan diferencias en los escenarios de captura potencial.

6. CONCLUSIÓN

En general, los bosques de San Pedro Jacuaro están poco perturbados, presentan un adecuado manejo, por lo que es posible estimar el contenido y captura potencial de carbono.

Para mejorar la calidad de sitio de los rodales, puede hacerse un manejo de la densidad del rodal, ya que su efecto se manifiesta rápidamente. Una opción es hacer aclareos, para disminuir la competencia por el espacio de crecimiento, que tendría por efecto el incremento de los DN de los árboles y por ende de la biomasa (Ruíz *et al.*, 1996). Esta intervención, podría llevarse a cabo en rodales que presenten una alta densidad de arbolado.

Cuadro 11. Comparación con otros estudios de captura de carbono por décadas en México.

Años	Ordóñez (1998) tC/ha/año	Rojas (2004) sitio N tC/ha/año	Rojas (2004) sitio SE tC/ha/año	Este estudio tC/ha/año
10	20	110	98	14
20	s.d.	121	32	28
30	50	116	12	32
40	84	96	s.d.	56
50	123	39	s.d.	70
60	166	42	s.d.	84
70	190	12	s.d.	98

s.d.= sin datos

🦋 Se espera que el cambio climático provoque un conjunto de impactos ambientales negativos en los ecosistemas. El Protocolo de Kioto es un modesto pero crucial paso para minimizar los efectos adversos del cambio climático global. En el último siglo la temperatura se ha incrementado en un grado centígrado, el mayor cambio climático de los últimos diez mil años. Pero en el siglo XXI se estima que la temperatura variará entre dos grados y medio y cinco. No es una política sana para la humanidad aplazar la búsqueda de soluciones para el futuro, cuando ya sea tarde. La atmósfera, el medio ambiente y sus procesos no tienen en cuenta los tiempos de reacción de los periodos humanos.

🦋 El cambio CCG es un problema global que se está presentado en nuestros días e involucra complejas interacciones entre procesos climáticos, ambientales, económicos, políticos, institucionales, sociales y tecnológicos.

🦋 Se requiere la elaboración y aplicación de programas de educación y sensibilización del público sobre cambio climático y sus efectos.

🌳 Se puede evitar que se produzcan emisiones de carbono de los bosques al protegerlos y conservarlos y de esta manera mantener sus importantes reservas de carbono.

🌳 Por otra parte se pueden crear sumideros al aumentar la capacidad de almacenaje de carbono en los bosques. Esto se puede realizar incrementando el área y/o densidad de los bosques naturales, estableciendo plantaciones, estableciendo proyectos agroforestales, y/o aumentando los depósitos de carbono en productos de madera (Brown *et al.*, 1996).

🌳 Es posible además reducir las emisiones, con la sustitución de combustibles fósiles por leña proveniente de bosques manejados sosteniblemente, la sustitución de productos de madera de corta vida por productos de madera de larga vida, o la sustitución de materiales que requieren alta energía para su elaboración (por ejemplo acero), por productos derivados de bosques como es la madera (Brown *et al.*, 1996).

7. LITERATURA CITADA

Aviña, F. 2006. Estimación del contenido de carbono en el suelo de diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo en la región Purépecha, Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias UNAM. México, D.F. 61 pp.

Apps, M.J., W.A. Kurz, R.J. Luxmoore, L.O. Nilsson, R.A. Sedjo, R. Schmidt, L.G. Simpson, and T.S. Vinson. 1993. Boreal forests and Tundra. In: Wisniewski, J. y R.N. Sampson (Eds.). Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂. Kluwer Academic Publishers. pp 39-53.

Atlas geográfico del Estado de Michoacán. 2a. ed. Morelia, 2003. Michoacán, México: Gobierno del Estado, Secretaría de Educación Michoacán-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo: El Colegio de Michoacán: Editorial EDDISA, SA de CV. 308 pp.

Ayala, R. A. 2001. Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la meseta central de Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales, México, D.F. 70 pp.

Bocco, G., J. Palacio y C. Valenzuela. 1991. Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica. Ciencia y desarrollo. 17(97): 90-96.

Bocco, G., O. Maser y M. Mendoza. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 44: 18-38.

Brown, J.K. and P.J. Roussopoulos. 1974. Estimating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuels. Forest Science. 20: 350-356.

Brown, S., J. Sathaye, M. Cannell, P. E. Kauppi. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review*. 75 (1):80-91.

Brown, S., Ch. Hall, W. Knabe, J. Raich, M. Trexler, and P. Woome. 1993. Tropical Forest: their past, present and potential future role in the terrestrial carbon budget. *Water, air and soil pollution* 70: 71-94.

Cairns, M. A., S. Brown, E. H. Helmer, and G. A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia* 111: 1-11.

Carranza, E. 1987. Aspectos botánicos-ecológicos del campo geotérmico Los Azufres, Michoacán (México). Tesis Profesional. Escuela de Biología-UMSNH. Morelia, Michoacán. México. 120 pp.

Colegio de la Frontera Sur, 2003. <http://www.ecosur.mx/scolel/c.global.htm>

Comisión Federal de Electricidad. 1985. Geología económica de los yacimientos geotérmicos en México. Reporte DEX 3/85. Morelia, Michoacán. México. 132 pp (inédito).

Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático. 2001. Segunda comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático. México. 374 pp.

Comisión Nacional Forestal, Instituto Nacional de Ecología y el Banco Mundial. 2003. Taller Internacional: Experiencia prácticas aplicadas en los aspectos de monitoreo, seguimiento del cobro y pago de servicios ambientales. Guadalajara, Jalisco, México. 9 pp.

Custodio, E., M Llamas. 2001. Hidrología subterránea. Segunda edición. Edit. Omega. Barcelona, España. 2350 pp.

Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 185-190.

De Jong, B., O. Masera, y T. Hernandez. 2004. In: Cambio Climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México, D.F. pp. 369-380.

Espinosa, M. 2005. Estimación del contenido de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena, D.F. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias-UNAM, México, D.F. 69 pp.

FAO. 1995. Forest resources assesment. 1990. FAO forestry paper 124. Roma Italy.

Figueres, C., and M. Gowan. 2002. The operation of the CDM, Center for Sustainable Development in the Americas, In: Figueres, Ch. (ed.): Establishing National Authorities for the CDM. International Institute for Sustainable Development and the Center for Sustainable Development in the Americas. pp 21-32.

Fragoso, P. 2003. Estimación del contenido y captura potencial de carbono en especies maderables del predio “Cerro Grande”, municipio de Tancítaro Michoacán. Tesis Profesional. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” U.M.S.N.H. Uruapan, Michoacán, México. 65 pp.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Tercera edición. Ed. Larios. México, D.F. 71 pp.

García, J. 2002. Plantas útiles de San Pedro Jacuaro, Municipio de Cd. Hidalgo, Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Biología-UMSNH. Morelia, Michoacán. México. 66 pp.

Garcidueñas, M. 1987. Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Chapingo. México. 243 pp.

GEF-UNEP. 1999. Technical Advisory Panel of the Global Environment Facility United Nations Environment Program. Report of Biodiversity Conservation in Managed Forest. México.

Gómez, M. 1988. Flora liquénica del campo geotérmico Los Azufres, Michoacán. México. Tesis Profesional. Escuela de Biología-UMSNH. Morelia, Michoacán. México. 213 pp.

Gómez-Tagle A., Y. Chávez, P. Krasilnikov, M. Alcalá, S. Sedov, A. Cabrera, A. Pelaéz, N. García, E. Fuentes, J. Ayala, H. Zepeda, J. Ramírez y X. Madrigal. 2005. XXII Curso-Diplomado Internacional de Edafología "*Nicolás Aguilera*". Michoacán, México. 52 pp.

Guzmán, A., I. Laguna y J. Martínez. 1999. Los mecanismos flexibles del protocolo de Kioto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. In: Cambio Climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México, D.F. pp. 177-187.

Hernández, E. 2004. Estimación de contenido de carbono en biomasa aérea en 9 diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo para el embalse de "La Parota" en Guerrero, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Guerrero, México. 54 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge. 101 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Cambio Climático, 2001; Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. Una evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio climático. 94 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2003. Revised 2003 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Reporting Instructions. Intergovernmental Panel on Climate Change. 294 pp.

Martínez, J. y B. Fernández. 2004. Cambio Climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México D.F. 525 pp.

Masera, O. 1996. Deforestación y Degradación Forestal en México. Documento de Trabajo No. 19. GIRA, A.C. Pátzcuaro, México. 62 pp.

Montoya, G., L. Soto, Ben De Jong, K. Nelson, P. Farias, Pajal Yakac Tic, J. Taylor y R. Tipper. 1995. Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología (INE). Cuadernos de Trabajo No. 4. México, D.F. 50 pp.

Nair, P. 1984. Soil Productivity Aspects of Agroforestry. Science and Practice of Agroforestry 1. International Council for Research in Agroforestry (ICRAF). Nairobi. 58 pp.

Nair, P. 1988. Production Systems and Production Aspects. The International Council for Research in Agroforestry (ICRAF). Main paper presented at the FAO Expert Consultation on Forestry and Food Production/Security, India. 50 pp.

Nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2006/2005_warmest.html

ONU: CMCC. 1998. Organización de las Naciones Unidas: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su tercer periodo de sesiones, celebrado en Kyoto, Japón del 1° al 11 de diciembre de 1997. COP. 52 pp.

Ordóñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias-UNAM. México, D.F. 61 pp.

Ordóñez, A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo. INE- SEMARNAP. México, D. F. 72 pp.

Ordóñez, J.A.B. 2002. Manual de procedimientos para la estimación de la biomasa aérea en bosques templados, matorrales, pastizales y áreas agrícolas. Instituto de Ecología-UNAM. 30 pp (inédito).

Primack, R., R. Roíz, P. Feinsinger, R. Dirzo y F. Massardo. 2002. Fundamentos de Conservación Biológica, Perspectivas latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 797 pp.

Rivera, A. 2000. El cambio climático: El calentamiento de la Tierra. Editorial Debate. Barcelona, España. 270 pp.

Rojas, F. 2004. Contenido y captura potencial de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* del parque nacional “La Malinche”, Tlaxcala-Puebla. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias-UNAM. México, D.F. 68 pp.

Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. 6th Ed. Limusa Noriega Editores. México, D.F. 432 pp.

Tudela, F. 2004. México y la participación de países en desarrollo en el régimen climático. In. Cambio Climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México D.F. pp.155-188.

Totten, M.1999. Getting it Right: Emerging markets for storing carbon in forests. World Resources Institute(WRI)- Forests Trend, Washintong, D.C. 48 pp.

United Nations Framework Convention on Climate Change –Clean Development Mechanism(UNFCCC-CDM). 2004. Report of the Conference of the Parties on its tenth session, held at Buenos Aires from 6 to 18 December 2004. Addendum. Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its tenth session. <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop10/cp1010s.pdf>.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2002. Kyoto Protocol Status of Ratification. Bonn: UNFCCC. Available on-line at<http://www.unfccc.int/resource/kpstats.pdf>

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2003. CARING FOR Climate Change. A guide to the climate change convention and the Kyoto Protocol. Issued by the climate change secretariat. Bonn, Germany.

UMSNH (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo)–Comisión Federal de Electricidad. 1985. Evaluación del impacto ambiental del campo geotérmico Los Azufres por efecto de la dispersión de las descargas a la atmósfera. Informe.

Facultad de Biología UMSNH -CFE. GPG 05/84. Morelia, Michoacán, México (inédito). 123 pp.

Velázquez, A., J. Mas, R. Mayorga-Saucedo, J.L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-González. I. Trejo, J. López-García, M. Palma, A. Peralta, J. Prado-Molina y F. González-Medrano. 2001. El inventario forestal nacional 2000. Ciencias 64: 13-19.

Villers, L. e I.Trejo. 2004. México y la participación de países en desarrollo en el régimen climático. In: Cambio Climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México D.F. pp. 239-254.

8. ANEXOS

Anexo I. Formato para captura de datos en los sitios de muestreo

DATOS GENERALES DEL SITIO. FORMATO 1

No de Sitio:	Localidad:	
UTM	E	Clase:
	N	
Altitud		
Responsable:	Pendiente °	
Orientación de la parcela	N	
Ladera	Cima	Pie de monte
	Valle	

Observaciones:	
Factores que influyen en la cantidad de biomasa	
Historia del sitio:	
Aprovechamiento _____ Clandestino _____ Legal _____	
Finalidad: Leña Pino _____ Leña Encino _____	
Madera _____	
Incendios _____ Pastoreo _____	
Plaga _____	
Altura del dosel _____ Edad del Sitio _____ (DAP Medio)	
Presencia de diferentes estratos y cobertura estimado	
En clases de: 1 = 0-25, 2= 25-50, 3 = 50-75, 4 = 75-100%	
Arboles de dosel _____ Arboles del interior _____	
Arbustos _____ Herbáceas _____	
Indicar presencia de regeneración con:	
Abundante _____, regular _____, escaso _____, nulo _____	
Otros:	

Anexo II. Formato para captura de datos en los sitios de muestreo

Hoja de datos para árboles
FORMATO 2a

Nº de Sitio:	Responsable:																			
Fecha:	Nº de hoja:																			
Círculo A, B ó C:	Localidad:																			
Clase diamétrica																				
Género	< 5	5.1	7.5	7.5	12.5	12.5	17.5	17.5	17.6	22.6	22.6	27.6	27.6	32.6	32.6	37.6	37.6	42.6	42.6	>
Pino																				47.6
Encino																				
Oyamel																				
Otras hoj.																				
Tocones																				
Pino																				
Encino																				
Otras hoj.																				
Muertos																				
Pino																				
Encino																				
Otras hoj.																				
Medición de altura																				
Pino		Encino				Otras														
DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	Altura