



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN
EL SUELO DE DIFERENTES CLASES DE COBERTURA
VEGETAL Y USO DEL SUELO EN LA REGIÓN
PURÉPECHA, MICHOACÁN, MÉXICO”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

FRANCISCO LUIS AVIÑA CERVANTES

MEXICO, D.F. 2007



DIRECTOR: FELIPE FRANCISCO GARCIA OLIVA
CO-DIRECTOR: JOSE ANTONIO BENJAMIN ORDOÑEZ DIAZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

División de Estudios Profesionales

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:
Estimación del contenido de carbono en el suelo de diferentes clases de cobertura
vegetal y uso del suelo en la región purépecha, Michoacán, México

realizado por Avifa Cervantes Francisco Luis

con número de cuenta 090521575 , quien cubrió los créditos de la licenciatura en
Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Tutor (a) Propietario Dr. Felipe Francisco García Oliva *[Firma]*

Co-Tutor Propietario Biól. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz *[Firma]*

Propietario Dr. Omer Raúl Masera Cerutti *[Firma]*

Suplente M. en C. Elizabeth Fuentes Romero *[Firma]*

Suplente M. en C. Manuel Hernández Quiroz *[Firma]*

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F., a 22 de Noviembre
CONSEJO DEPARTAMENTAL DE BIOLOGIA

[Firma]
DR. ZENÓN CANO SANTANA

FACULTAD DE CIENCIAS
del 2006

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN DE ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno

Aviña
Cervantes
Francisco Luis
Tel. (443) 302-6208
francisco.avina@inecol.edu.mx
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
090521575

2. Datos del tutor

Dr.
Felipe Francisco
García
Oliva

3. Datos del cotutor

Biól.
José Antonio Benjamín
Ordóñez
Díaz

4. Datos del sinodal 1

Dr.
Omar Raúl
Maserá
Cerutti

5. Datos del sinodal 2

M. en C.
Elizabeth
Fuentes
Romero

6. Datos del sinodal 3

M. en C.
Manuel
Hernández
Quiroz

7. Datos del trabajo escrito

Estimación del contenido de carbono en el suelo de diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo en la Región Purépecha, Michoacán, México.

78 p
2007

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

La realización de este trabajo de tesis fue posible gracias a la participación de muchas personas, entre ellas el Dr. Felipe García Oliva, a quien agradezco su paciencia y compromiso. El Biól. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz me otorgó su apoyo mucho más allá de lo académico, su generosa amistad me permitió sobrevivir los primeros años de este proyecto. El Dr. Omar Masera Cerutti me facilitó un espacio en su laboratorio.

Los técnicos académicos: M. en C. René Martínez Bravo, M. en C. Maribel Nava y Biól. Gabriela Guerrero Pacheco me proporcionaron ayuda crucial en los trabajos de campo, laboratorio y procesamiento de datos, respectivamente. El M. en C. Heberto Ferreira fue siempre oportuno en su asesoramiento en materia informática.

Los Ing. Pablo Irving Fragoso, Juan Carlos Zamora y José Ventura Pérez Camargo, así como la Biól. Erika Tapia Medina, fueron estupendos compañeros de trabajo en campo.

A los técnicos académicos Biól. Vicente Salinas Melgoza y Biól. Luis Raúl Ahedo Hernández por facilitarme información especializada para la discusión de este trabajo.

En general mi agradecimiento a la comunidad académica del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, Campus Morelia por su amistad y apoyo constantes.

A los sinodales M. en C. Elizabeth Fuentes Romero y M. en C. Manuel Hernández Quiroz de la Facultad de Ciencias por la revisión crítica y profesional de este documento.

Por último quisiera agradecer especialmente al Centro Regional del Bajío del Instituto de Ecología, A. C., a los maestros Rzedowski y al Dr. Sergio Zamudio Ruiz por haberme ofrecido una oportunidad laboral y un ingreso económico sin el cual no hubiese sido posible llevar a término este trabajo.

El proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Proyecto 32715-N.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Papá, Mamá: Muchas gracias por darme la vida, educarme, darme ejemplo, ser generosos y no esperar nada a cambio; lamento haberme tardado tanto en entender que los frutos del esfuerzo me allanarían el camino. Reciban este trabajo como un pequeño tributo a sus 50 años de matrimonio.

Nacho, Tere, Pepe, Carlos, Lupe, Quico, Elena... gracias por ser mis hermanos, por apoyarme, estar al pendiente y hasta regañarme; cada uno de ustedes aporta todos los días algo especial a mi existencia.

Luis, Dany, Elsa, Malex, Karla, Kalan y Mony es fabuloso ser tío de ustedes.

Irma, Edith, Lalo e Isabella, parte de mi familia en California, siempre los tengo presentes.

Neg, no olvido el apoyo que en todo momento me has dado, las veces que me has escuchado, finalmente te entrego buenas cuentas en nombre de mi abuelita Emi y la Kis.

Amigos de la Facultad de Ciencias y de siempre, desde la "Ventana Estudiantil hacia la Ciencia" hasta el Círculo de Lectura, gracias por su amistad, las salidas de campo y todos esos momentos que han dejado huella en nuestro camino.

A mis maestros, por su entrega a la labor educativa.

A la UNAM por ser fuente de conocimiento, a mis compañeros del Centro de Investigaciones en Ecosistemas por hacer su trabajo con profesionalismo y entusiasmo.

Al Centro Regional del Bajío del Instituto de Ecología, A.C. por haberme tendido la mano en los momentos más difíciles y por el apoyo para terminar este trabajo.

Y a ti que lees este trabajo, espero que la información que hay en él te sirva para generar conocimiento.

INDICE

Agradecimientos	i
Índice	iii
Resumen	v

I. Antecedentes

1.1	El cambio climático	1
1.2	El ciclo global del carbono	4
1.3	Los almacenes de carbono en los bosques	6
1.4	Dinámica del carbono en el suelo de los bosques	8
1.5	El cambio en el uso del suelo en los bosques	10
1.5.1	El cambio en el uso del suelo en los bosques de México	11
1.5.2	El cambio en el uso del suelo en los bosques de Michoacán	12
1.5.3	El cambio en el uso del suelo en la Región Purépecha	12
1.6	Efecto del cambio en el uso del suelo sobre los contenidos de carbono	13
1.6.1	Bosque a pastizal	13
1.6.2	Pastizal a bosque secundario	13
1.6.3	Pastizal a plantación forestal	13
1.6.4	Bosque a plantación forestal	14
1.6.5	Bosque a agricultura y pastizal a agricultura	14
1.6.6	Agricultura a plantación forestal, Agricultura a bosque o vegetación secundaria y Agricultura a pastizal	15

II. Objetivos

17

III. Métodos

3.1	Área de estudio	19
3.2	Características de los suelos de la Región Purépecha	20
3.3	Selección de sitios para muestreo	22
3.3.1	Subregionalización	22
3.3.2	Clases de cobertura vegetal y uso de suelo	23
3.3.3	Estrategia de muestreo en campo	28
3.4	Diseño para la colecta de muestras de suelo en campo	30
3.5	Análisis de muestras de suelo en el laboratorio	31
3.6	Procesamiento de datos	32

IV. Resultados

4.1	Análisis de fragmentación por clase de cobertura vegetal y uso del suelo en el área de estudio.	35
4.1.1	Subregión Meseta	35
4.1.2	Subregión Pátzcuaro	36
4.1.3	Subregión Tancítaro	37
4.1.4	Subregión Uruapan	39
4.1.5	Región Purépecha	40
4.2	Concentración de carbono orgánico total por clase de cobertura vegetal y uso del suelo por profundidad a nivel subregional.	42
4.2.1	Primera profundidad (0-5 cm)	42
4.2.2	Segunda profundidad (5-15 cm)	44
4.2.3	Tercera profundidad (15-30 cm)	46
4.3	Contenido de carbono orgánico total por clase de cobertura vegetal y uso del suelo por profundidad a nivel subregional.	48
4.3.1	Primera profundidad (0-5 cm)	48
4.3.2	Segunda profundidad (5-15 cm)	50
4.3.3	Tercera profundidad (15-30 cm)	52
4.3.4	Contenidos de 0-30 cm de profundidad	54
4.4	Cálculo del contenido total de carbono a nivel subregional y regional	56
4.4.1	Análisis subregional para la profundidad de 0-5 cm	56
4.4.2	Análisis subregional para la profundidad de 0-30 cm	59
4.4.3	Análisis regional para la profundidad de 0-5 cm	62
4.4.4	Análisis regional para la profundidad de 0-30 cm	63

V. Discusión

5.1	Concentración de carbono orgánico total por clase de cobertura vegetal y uso del suelo por profundidad a nivel subregional	65
5.2	Contenido de carbono orgánico total por clase de cobertura vegetal y uso del suelo por profundidad a nivel subregional	68
5.3	Cálculo del contenido total de carbono a nivel subregional y regional	71
5.3.1	Análisis subregional para la profundidad de 0-5 cm	71
5.3.2	Análisis subregional para la profundidad de 0-30 cm	72
5.3.3	Análisis regional para la profundidad de 0-5 cm	73
5.3.4	Análisis regional para la profundidad de 0-30 cm	73

Referencias Bibliográficas	75
-----------------------------------	-----------

RESUMEN

El cambio climático, definido como “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición química de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima” representa el problema ambiental más grave que enfrenta la humanidad. Las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) provenientes del consumo de combustibles fósiles y la deforestación se acumulan en la atmósfera, incrementando la temperatura del planeta.

Para comprender la dinámica de acumulación e intercambio de GEI entre los componentes del sistema planetario como la atmósfera, la biósfera, la litósfera y la hidrósfera, es indispensable comprender el funcionamiento del ciclo global del carbono, identificando sus fuentes, flujos y almacenes. En los ecosistemas terrestres, los bosques representan importantes reservorios de carbono; dentro de ellos se pueden identificar a la vegetación y a los suelos como los depósitos más significativos de este elemento químico. Los cambios en el uso del suelo que están transformando estos ecosistemas, modifican su papel dentro de la dinámica del carbono; por lo tanto es necesario caracterizarlos y cuantificar los contenidos de carbono orgánico en estos almacenes.

El presente estudio tiene como objetivo determinar los contenidos de carbono orgánico del suelo bajo diferentes usos y clases de cobertura vegetal en la Región Purépecha en el estado de Michoacán, México. Para ello se identificaron dentro del área de estudio, con una superficie aproximada de 577,000 ha, cuatro grandes subregiones: Meseta (MES), Pátzcuaro (PAT), Uruapan (URU) y Tancítaro (TAN). Al interior de cada una de ellas se identificaron 10 clases de cobertura vegetal y uso del suelo (CV-US), seleccionando 72 sitios para la colecta de muestras de suelo a tres diferentes profundidades: 0-5 cm., 5-15 cm. y 15-30 cm. Las muestras (1,783) fueron analizadas en el laboratorio para determinar su concentración de carbono orgánico total (COT). A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio se realizaron cálculos para obtener los contenidos totales de carbono orgánico en suelo para cada CV-US a las tres profundidades determinadas y el total en los primeros 30 cm del suelo. Con ayuda del sistema de información geográfica (SIG) de la región se realizó un análisis de fragmentación del área de estudio y se elaboraron mapas de concentración y contenidos de carbono a nivel subregional y regional que permitieron determinar la distribución espacial de los contenidos de carbono orgánico total en los suelos de la región. Finalmente se determinó el contenido total de carbono orgánico de los suelos a nivel subregional y regional para las profundidades de 0-5 cm y de 0-30 cm.

Los resultados muestran que la subregión MES es la más fragmentada de todas (2,713), en tanto que la subregión PAT presenta los fragmentos más extensos en promedio (85.54 ha); a nivel regional, los Bosques con Vegetación Secundaria (BVS) fueron la clase de CV-US con mayor número de fragmentos (1,828), mientras que la clase de CV-US de Frutales (FRU) presentó los fragmentos más grandes en promedio (137.46 ha). En las concentraciones de carbono orgánico total, destaca PAT como la subregión con los valores más altos en los primeros 15 cm del suelo (0-5 cm= 6.1%, 5-15 cm= 4.1%) en tanto que MES es la subregión con mayores concentraciones de COT en la tercera profundidad (15-30 cm) con 3.6%. Entre las clases de CV-US destacó el Bosque de Encino (BE) con las mayores concentraciones de COT en los primeros 15 cm del suelo (0-5 cm.=

7.1%, 5-15 cm= 2.9%), la Agricultura (AGR) es la clase de CV-US que presentó valores más altos de concentración de 15-30 cm (3.3%). En cuanto a los contenidos de COT, la subregión MES presentó los valores más altos en los primeros 5 cm (27.1 Mg C/ha), siendo desplazada de ese sitio por PAT de los 5 a los 30 cm de profundidad (5-15 cm = 39.1 Mg C/ha, 15-30 cm = 49.2 Mg C/ha); esta subregión presentó los contenidos más altos de COT de 0 a 30 cm (114.6 Mg C/ha). Respecto a las clases de CV-US, el BE presentó los mayores contenidos de COT en los primeros 30 cm de profundidad (128.2 Mg C/ha). En los primeros 5 cm de profundidad, la subregión MES mostró los contenidos totales más altos de carbono a nivel subregional (3,010.62 Gg C); en tanto que, la subregión PAT obtuvo los valores máximos de contenido total de carbono de 0-30 cm (13,400.22 Gg C). A nivel regional, de 0-5 cm los suelos de los Bosques de Pino-Encino (BPE) y Bosques de Pino (BP) fueron los que más contribuyeron al contenido de carbono total de la región (26.3 y 24%, respectivamente) que fue de 10,495 Gg C. En los primeros 30 cm de profundidad, la AGR fue la clase de CV-US con mayor contribución al contenido total de carbono (30%) que se calculó en 41,784.38 Gg C.

Para explicar las diferencias en las concentraciones de carbono entre las clases de CV-US y las subregiones, se realizaron estimaciones indirectas de la productividad mediante el análisis de las altitudes y temperaturas promedio de cada subregión. Los resultados de este estudio se compararon con los obtenidos por De Jong et al. (1999) en la región de Los Altos de Chiapas. Así mismo se buscaron e identificaron asociaciones entre las diferentes clases de CV-US para cada una de las subregiones. Algunas de éstas, como el BE se identificaron como clases con altos contenidos totales de COT (128.2 Mg C/ha @ 0-30 cm) con poca distribución territorial en la región (2%). Otros como la AGR mostraron los efectos de la remoción de la cobertura vegetal en los primeros 5 cm del suelo, al presentar valores bajos de concentración y contenidos de COT en la primera profundidad, y valores de concentración y contenido de COT incluso superiores a clases de CV-US boscosas en las dos profundidades restantes. Otras clases de CV-US como FRU en URU y TAN mostraron concentraciones y contenidos similares de carbono respecto a otras clases arbóreas como BP y BPE. Finalmente, los BVS representan una clase de CV-US difícil de caracterizar, ya que en ella se agrupan bosques con diferentes estados sucesionales y que en la mayoría de las veces son sitios cuya vegetación original fue removida para usos agropecuarios para ser posteriormente abandonadas.

Este estudio representa una primera aproximación a la cuantificación de los contenidos de carbono en los suelos a nivel regional; las diferencias observadas dentro de las diversas clases de CV-US y subregiones nos indican que son necesarios más estudios a través del tiempo para comprender la dinámica del carbono en los bosques templados e identificar los efectos del cambio en el uso del suelo para poder estimar el potencial de captura de carbono de los suelos de la región y proponer alternativas de mitigación para el cambio climático mediante la instrumentación de proyectos de uso del suelo, cambio en el uso del suelo y silvicultura.

I. ANTECEDENTES.

1.1 El cambio climático

El cambio climático es un fenómeno global que representa el problema ambiental más grave que enfrenta la humanidad y se define como "el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima" (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático –UNFCCC, por sus siglas en inglés-, 1992).

En nuestro planeta la energía solar llega en forma de radiación de onda corta, una parte de ésta es reflejada al espacio exterior por la atmósfera. La mayor proporción pasa a través de ella, para después ser reflejada por la superficie de la Tierra en forma de radiaciones de onda larga, una parte de ellas queda retenida en la troposfera (Figura 1). La cantidad de radiación retenida depende de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI; Semarnat, 2006).

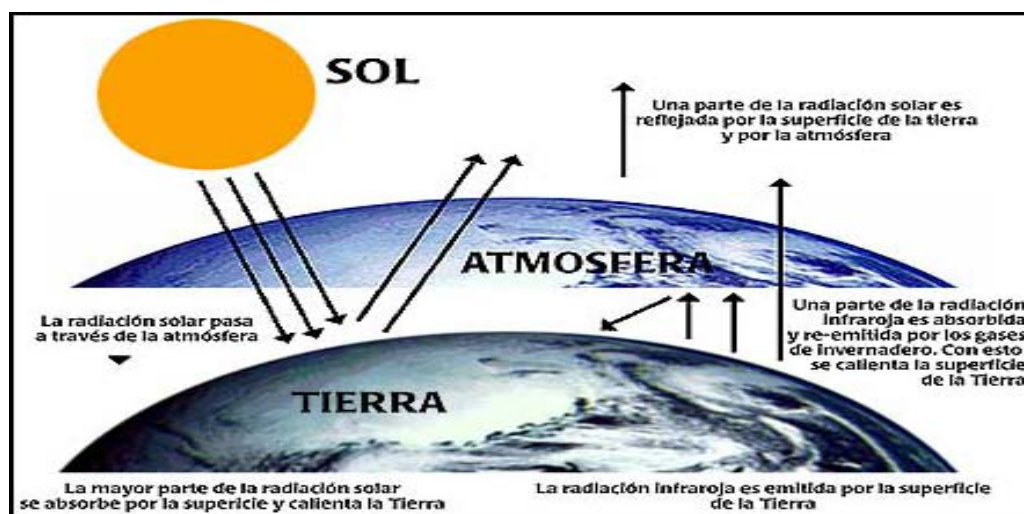


Figura 1. Esquema del efecto invernadero.
(Fuente: Semarnat, 2006)

En los últimos diez mil años, las características físicas y químicas de la atmósfera han permitido que la temperatura promedio del planeta se mantenga cercana a los 15°C (Burroughs, 2001). Sin embargo, el aumento en la concentración de los GEI en la atmósfera han producido el calentamiento de la superficie de la Tierra, afectando al clima del planeta (Jaramillo, 1994). El incremento de la temperatura de la superficie terrestre observado durante el siglo XX (Figura 2) ha sido el más importante en los últimos mil años (IPCC, 2001). Existen pruebas convincentes de que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años se puede atribuir a actividades humanas (Cuadro 1).

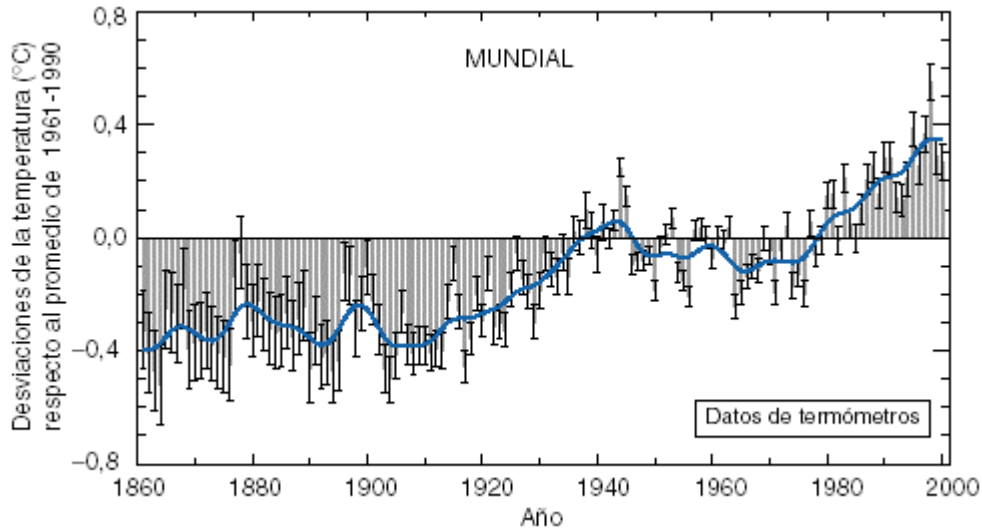


Figura 2. Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra en el periodo 1860-2000. (Fuente: Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. IPCC, 2001)

Las concentraciones atmosféricas de los principales gases de efecto invernadero (i.e. dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y ozono (O_3)) alcanzaron los niveles más altos durante el decenio de 1990 debido al uso de los combustibles fósiles, a la deforestación y al uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura (IPCC, 2001), por ejemplo la concentración del CO_2 se incrementó en un 28% (de 285 a 366 ppm entre 1850 y 1990). Si las emanaciones de GEI continúan aumentando al ritmo actual, es casi seguro que en el presente siglo los niveles de CO_2 en la atmósfera duplicarán los niveles preindustriales (ca. 570 ppm), y si no se toman medidas para frenar dichas emisiones, es muy probable que los índices se tripliquen para el año 2100.

Desde 1850 hasta 1998, se han emitido aproximadamente 270 (± 30) Gt de carbono¹ a la atmósfera por el uso de combustibles fósiles y producción de cements; además cerca de 136 (± 55) Gt C se han emitido como resultado de la deforestación, dando un total de 406 Gt C emitidos a la atmósfera. De esa cantidad se ha quedado en ella 176 (± 10) Gt C y la diferencia (alrededor de 230 (± 60) Gt C) ha sido incorporada en cantidades similares por los océanos y los ecosistemas terrestres (IPCC, 2001a).

Para conocer los efectos del cambio climático y establecer estrategias de mitigación es crucial conocer el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos globales -particularmente el ciclo global del carbono- así como la forma en que las actividades humanas influyen en ellos.

¹ Gt C= Gigatoneladas de Carbono. 1 Gt = 1×10^{15} gramos = Pg C = Petagramos de Carbono.

Factor		Cambios observados	
<i>Indicadores de concentración</i>			
Concentración atmosférica de CO ₂	288 ppm (ppm = μg/m ³) durante el período 1000-1750 a 368 ppm en el año 2000 (31 ± 4% de aumento)		
Concentración atmosférica de CH ₄	700 ppb (ppb = ηg/m ³) durante el periodo 1000-1750 a 1750 ppb en el año 2000 (aumento = 151 ± 25%)		
Concentración atmosférica de N ₂ O	270 ppb en el periodo 1000-1750 a 316 ppb en el año 2000 (aumento = 17 ± 5%)		
Concentración troposférica de O ₃	Aumento del 35 ± 15% entre los años 1750-2000, con variaciones regionales.		
Concentración estratosférica de O ₃	Disminución en los años 1970-2000, con variaciones según altitud y latitud.		
Concentraciones atmosféricas de Perfluorocarbonos (PFC), Hidrofluorocarbonos (HFC) Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	Aumento en todo el mundo durante los últimos 50 años		
<i>Indicadores meteorológicos</i>			
Temperatura media mundial de la superficie terrestre	Aumento de 0.6° C; la superficie de la Tierra se ha calentado más que los océanos.		
Precipitaciones fuertes	Aumento en latitudes medias y altas en el Norte.		
Días calurosos / Índice de calor	Aumento.		
Temperatura diurna de la superficie	Disminución en el período 1950-2000 en las zonas terrestres; las temperaturas mínimas nocturnas han aumentado el doble de las temperaturas máximas diurnas		
Precipitaciones continentales	Aumento en un 5-10 % en el Hemisferio Norte, aunque han disminuido en algunas regiones		
Frecuencia e intensidad de las sequías	Aumento del clima seco estival y las consiguientes sequías en algunas zonas como partes de Asia y África		
Días de frío / Heladas	Disminución en casi todos las zonas terrestres.		
Media mundial del nivel del mar	Aumento a una velocidad media anual de 1 a 2 mm.		
<i>Indicadores físicos y biológicos</i>			
Extensión y espesor del hielo marino en el Ártico	Disminución en un 40% en los últimos decenios desde finales del verano a principios del otoño		
Glaciares no polares	Retiro generalizado.		
Capa de nieve	Disminución de su extensión en un 10% desde que se registran observaciones por satélite en los años 1960.		
Permafrost	Fusión, calentamiento y degradación en las zonas polares, subpolares y regiones montañosas.		
Fenómenos asociados con El Niño	Mayor frecuencia, persistencia e intensidad en los últimos 20-30 años, con respecto a los últimos 100 años.		
Área de distribución de plantas y animales	Desplazamiento de plantas, insectos, pájaros y peces hacia los polos o altitudes mayores.		
Cría, floración y migración	Adelanto de la floración, la llegada de las primeras aves, la época de cría y la aparición de los insectos en el Hemisferio Norte.		
Decoloración de los arrecifes de coral	Aumento de la frecuencia, especialmente durante los fenómenos asociados con El Niño.		
<i>Indicadores económicos</i>			
Pérdidas económicas relacionadas con fenómenos meteorológicos	Aumento de las pérdidas económicas a nivel mundial, en un orden de magnitud durante los últimos 40 años.		

Cuadro 1. Cambios en la atmósfera, clima y sistemas biológicos terrestres durante el Siglo XX. (Fuente: Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. IPCC, 2001a)

1.2 El ciclo global del carbono

El ciclo biogeoquímico del carbono –elemento químico clave para la vida– es muy complejo, incluye todas las formas de vida en la Tierra, así como los reservorios de carbono inorgánico y las relaciones entre ambos (Figura 3).

Los procesos metabólicos de los organismos constituyen el motor que dirige el ciclo global del carbono en escalas de tiempo que abarcan desde segundos hasta varios cientos de años (Chapin et al., 2002). En una escala de tiempo de milenios, los océanos han determinado las concentraciones atmosféricas de CO₂ (Falkowski et al., 2000).

El carbono en la Tierra se distribuye en cuatro grandes reservorios:

- Atmósfera
- Hidrósfera
- Litósfera
- Biósfera terrestre

(Holmén, 2000)

En la atmósfera -principalmente como CO₂- se encuentra el más pequeño y dinámico de esos reservorios (700-760 Gt C), que interactúa con los océanos y los ecosistemas terrestres, reabasteciéndose constantemente debido a los procesos de fotosíntesis y respiración, que remueven y regresan, respectivamente, este compuesto (Chapin et al., 2002).

Los océanos contienen cerca de 50 veces más carbono que la atmósfera, principalmente como carbono inorgánico disuelto. Anualmente se intercambian alrededor de 90 Gt C año⁻¹ entre la atmósfera y los océanos. La asimilación de carbono por los océanos está limitada por la solubilidad del CO₂ en el agua del mar, el tiempo en que se mezclan las aguas superficiales y profundas y la cantidad de cationes disponibles entre otros factores (Falkowski et al., 2000).

La biota marina representa un almacén pequeño (ca. 2 Gt C), aunque por ella circula anualmente tanto carbono como en la vegetación terrestre; los restos orgánicos de carbonato de calcio se hunden lenta pero constantemente en las aguas profundas de los océanos, este proceso conocido como "bomba biológica" transporta el carbono a depósitos donde permanece almacenado por cientos o miles de años.

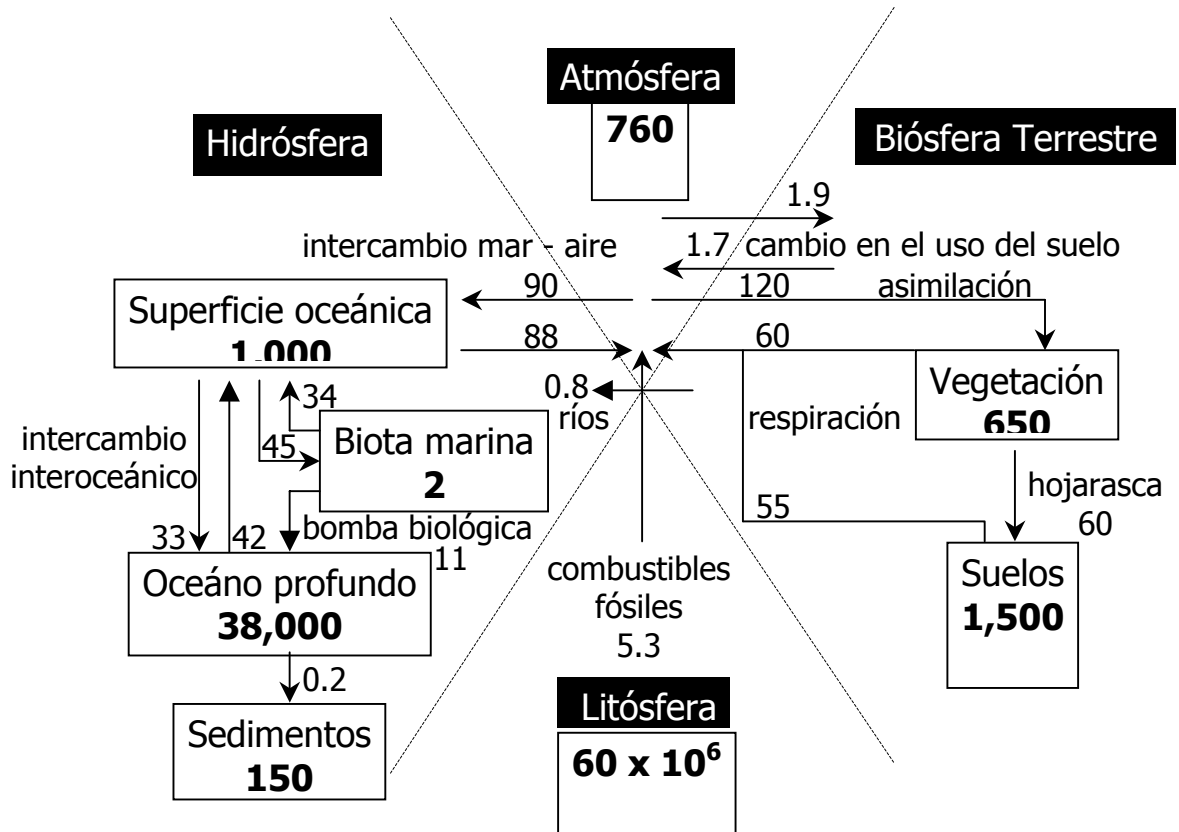


Figura 3. Ciclo global del carbono con almacenes y flujos expresados en Gt C y Gt C año⁻¹ respectivamente. (Modificado a partir de: Schlesinger, 1991; Holmén, 2000; Chapin, 2002)

El carbono contenido en la litósfera representa el 99% del total en el planeta (Schlesinger, 1991). El carbono de este almacén circula de manera muy lenta, en escalas de tiempo de millones de años. Los factores que gobiernan estos procesos son de tipo geológico (deriva continental, vulcanismo, metamorfismo e intemperismo).

La biósfera terrestre es el reservorio biológico de carbono más importante del planeta, el carbono contenido en la vegetación y en los suelos es tres veces superior al contenido en la atmósfera; el carbono se intercambia con la atmósfera mediante la fotosíntesis, la respiración y la descomposición (Watson et al., 2000).

Dentro de los ecosistemas terrestres, los bosques constituyen el almacén más importante del carbono (Cuadro 2). La cantidad de carbono global almacenado en los suelos es mucho mayor que el que hay en la vegetación. El suelo es el depósito principal de carbono en todos los biomas.

Bioma	Área (10 ⁶ Km ²)	Reservas de Carbono (Pg C)		
		Vegetación	Suelos	Total
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

Cuadro 2. Almacenes globales de carbono en la vegetación y en el primer metro de profundidad en suelos (Fuente: Bolin y Sukumar, 2000).

1.3 Los almacenes de carbono en los bosques.

Los bosques representan un importante reservorio de carbono que corresponde al 80% del total contenido en los ecosistemas terrestres. (Kolhmaier et al, 1998). Los principales almacenes de C en los bosques son: a) la vegetación (biomasa aérea y biomasa radicular), b) la materia en descomposición (mantillo y materia leñosa muerta) y c) los suelos (Ordóñez y Masera, 2001).

El carbono ingresa en los bosques mediante la fotosíntesis, que a su vez está regulada por la disponibilidad de agua y nutrientes; la entrada neta de C en estos ecosistemas está determinada por el balance entre la fotosíntesis, que a escala de ecosistema se conoce como productividad primaria bruta (PPB), y la tasa de respiración de la vegetación; cerca del 50% del carbono que ingresa por la PPB es empleada por las plantas para la respiración, por lo que regresa como CO₂ a la atmósfera (Schlesinger, 1991; Waring y Running, 1998).

El carbono incorporado por las plantas después del balance entre la PPB y la respiración, se transforma en moléculas móviles que se asignan a diferentes partes de la planta –aéreas o subterráneas- para satisfacer sus demandas fisiológicas y estructurales. Esta asignación va a determinar las rutas por las cuales se dará posteriormente el flujo de carbono al suelo y eventualmente dará origen a la materia orgánica del suelo. (Chapin et al., 2002).

Las plantas transfieren carbono hacia el suelo por diferentes vías, las más importantes son la hojarasca (desprendimiento de hojas y partes muertas de las plantas), los exudados (secreciones de compuestos orgánicos solubles de las raíces al suelo) y la transferencia de carbono a los organismos que están asociados simbióticamente con las raíces (micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno, Figura 4).

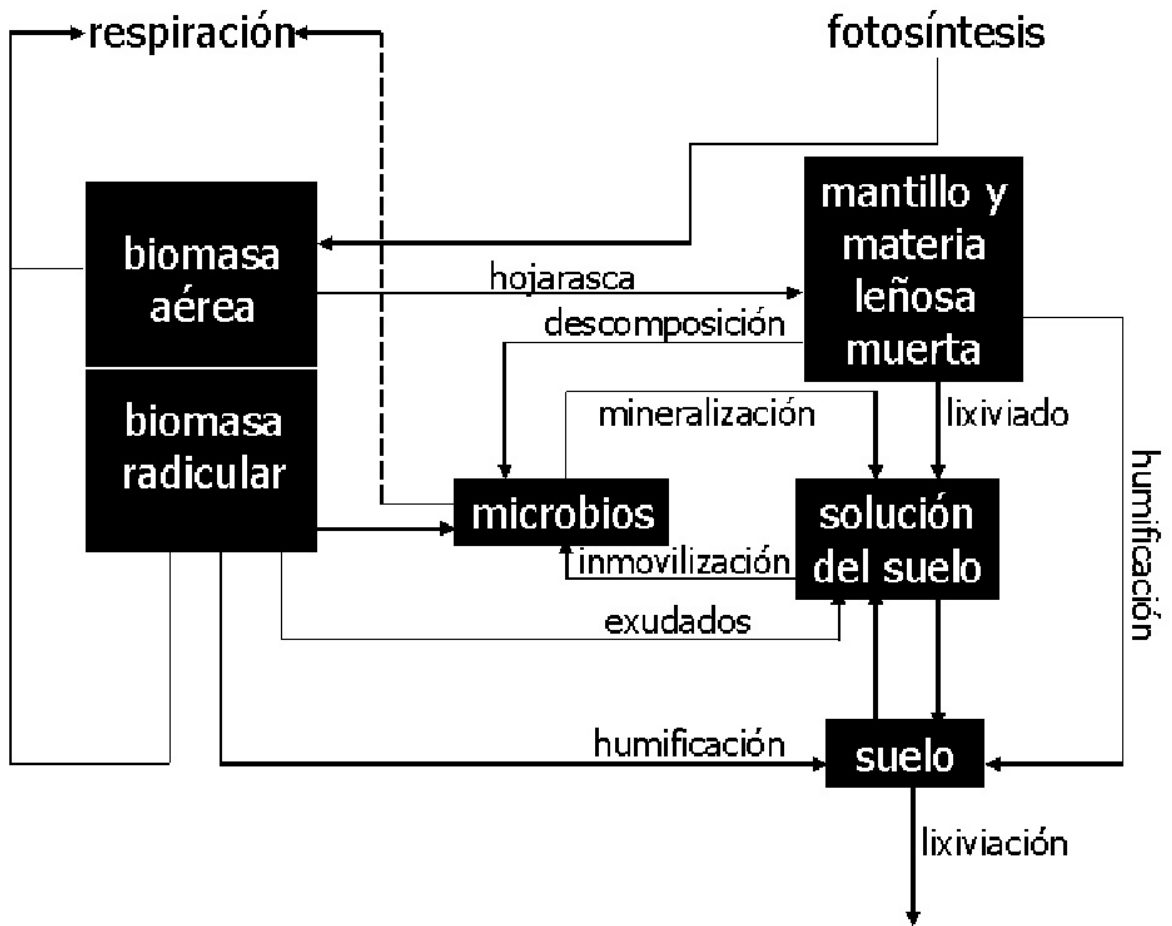


Figura 4. Principales rutas del carbono en un ecosistema terrestre.
(Modificado a partir de Oliva y García-Oliva, 1998, Chapin et al., 2002)

El carbono almacenado en el suelo y en los residuos vegetales de los bosques constituyen los depósitos más cuantiosos de carbono en los ecosistemas forestales (Oliva y García-Oliva, 1998). No obstante, existen variaciones importantes entre los distintos ecosistemas y tipos de bosque; en los ecosistemas boreales entre el 80 y 90% del carbono está almacenado en los suelos, en tanto que en los bosques tropicales húmedos el carbono se encuentra distribuido casi en partes iguales entre el suelo y la vegetación (Bolin y Sukumar, 2000). La causa principal de esta diferencia es la influencia de la temperatura y disponibilidad de agua en los índices relativos de producción y descomposición de la materia orgánica; las temperaturas más cálidas y húmedas provocan la rápida mineralización de la materia orgánica del suelo.

Por tanto, existen diferentes tiempos de circulación del carbono entre los componentes del proceso. El carbono fijado por la fotosíntesis, emitido por la fotorrespiración y la respiración circula en escalas de tiempo de segundos a horas; el carbono que forma las hojas y raíces es sustituido en lapsos que van de semanas a años y el carbono que forma parte de la madera es remplazado en periodos de décadas a siglos. Los componentes de la materia orgánica del suelo también tienen diferentes escalas de tiempo de recambio que se explicarán en la siguiente sección.

1.4. Dinámica del carbono en el suelo de los bosques

El carbono que se encuentra en el suelo puede estar en formas inorgánicas (carbonatos) y orgánicas (Noble et al., 2000). En los suelos forestales, el carbono inorgánico se encuentra en muy pequeñas concentraciones, por lo que la gran mayoría de está se encuentra en forma orgánica. El suelo contiene en promedio 5% de materia orgánica, se asume que el 58% de ésta corresponde a C (Stevenson y Cole, 1999). En los suelos de los bosques las entradas de materia orgánica predominantes corresponden a los residuos de hojas y raíces muertas y a los exudados radiculares (Tate, 1992).

Los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia dependiendo de su origen y composición bioquímica, variando éstos de unos días a semanas (compuestos metabólicos vegetales o de bajo peso molecular como azúcares simples); meses a décadas (compuestos estructurales vegetales como celulosa o lignina) o más de mil años (fracción húmica o estable, Figura 5).

El carbono orgánico del suelo es extremadamente heterogéneo, está presente en diversas formas como:

- Fracción ligera.
- Biomasa microbiana.
- Fracción húmica.

(Tate, 1992)

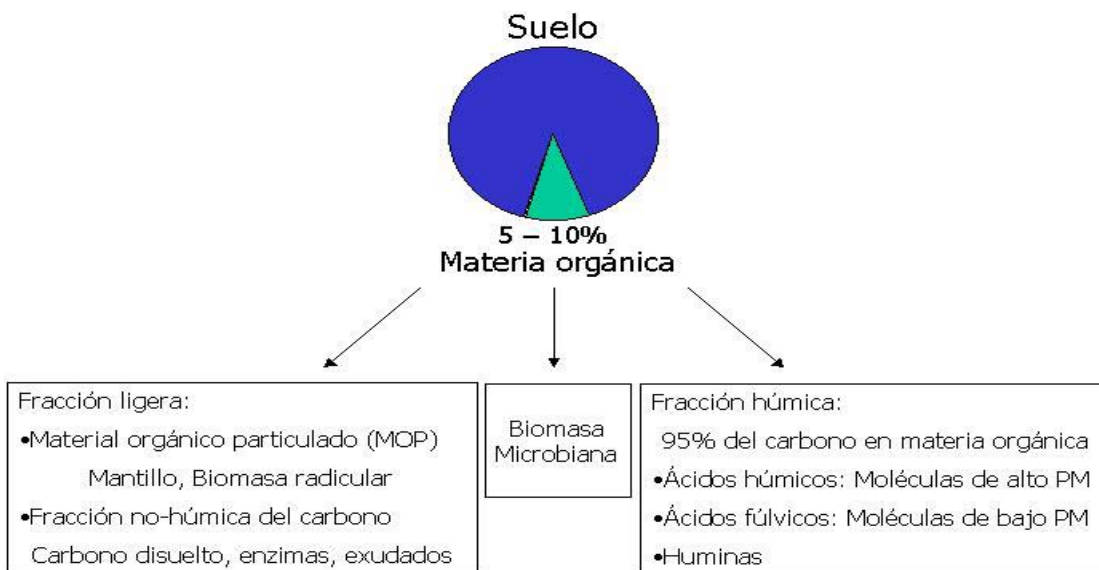


Figura 5. Distribución de la materia orgánica del suelo.
(Modificado a partir de Tate, 1992; Stevenson y Cole, 1999).

La fracción ligera y la biomasa microbiana -que constituyen la fracción no-húmica- son formas lábiles o activas del carbono orgánico del suelo y en ellas se encuentra la mayor concentración de carbono que se puede reciclar dentro del sistema a escalas de tipo mensuales a anuales.

Dentro de la fracción ligera del C se puede identificar la materia orgánica particulada (POM) constituida por los residuos de origen vegetal provenientes de hojas y raíces y los productos generados a partir de su descomposición. También se encuentran sustancias orgánicas metabolizables como exudados de raíces, enzimas extracelulares y carbono disuelto en la solución del suelo.

La biomasa microbiana representa del 1 al 5% del carbono orgánico total del suelo, siendo la responsable de la transformación de las formas orgánicas de carbono. Entre las transformaciones que realiza del C orgánico están:

- La mineralización del carbono, produciendo CO₂ el cual regresa a la atmósfera.
- Formación de compuestos orgánicos más simples, aprovechables por otras poblaciones microbianas.
- Producción de biomasa (inmovilización) y compuestos microbianos, como enzimas y otros metabolitos.

La fracción húmica constituye cerca del 95% del COS, siendo la fracción químicamente más estable (Oliva y García-Oliva, 1998). El humus es la fracción de la materia orgánica del suelo de color pardo a negro que es relativamente resistente a la degradación biológica y está constituido por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Estas sustancias se forman por reacciones de síntesis biogeoquímica (humificación) y poseen propiedades fisicoquímicas muy diferentes a las moléculas biológicas de los organismos (Oliva y García-Oliva, 1998).

El impacto principal de la humificación en la dinámica de un ecosistema, es que los compuestos orgánicos relativamente simples son removidos de los depósitos de la materia orgánica del suelo de fácil asimilación y rápida circulación para ser incorporados a las fracciones de materia orgánica con mayor estabilidad química y menor velocidad de circulación (Tate, 1992); cabe señalar que algunos lípidos y carbohidratos forman parte de las fracciones no humificadas.

Los contenidos de carbono orgánico en los suelos dependen de los siguientes factores:

- Factores climáticos: principalmente temperatura y humedad.
- Vegetación: especies, composición química de las plantas, calidad y productividad.
- Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo: textura, capacidad de retención de agua, pH, composición mineral, capacidad de intercambio catiónico, entre otros.

(Oliva y García-Oliva, 1998; Stevenson y Cole, 1999; FAO, 2002)

Los factores climáticos juegan un papel prominente en los niveles de materia orgánica del suelo; ya que determinan la distribución de especies vegetales en una localidad, la cantidad de material vegetal producido y la intensidad de la actividad microbiana de suelo, regulando su descomposición (Stevenson y Cole, 1999); a mayor temperatura y humedad aumenta la tasa de descomposición de los restos vegetales.

La vegetación influye en las tasas de suministro y pérdida de nutrientes en los suelos, la incorporación, asignación y transporte de elementos químicos –como el C- en el interior de las plantas varía en cada especie lo que origina diferencias en la calidad de la materia orgánica; en cuanto a los restos de materia vegetal muerta los compuestos metabólicos solubles se degradan con mayor rapidez, seguidos por compuestos estructurales como la celulosa, y ésta a su vez se descompondrá en menor tiempo con respecto a la lignina que se degrada en forma muy lenta; las altas concentraciones de nitrógeno en los compuestos orgánicos de origen vegetal favorecen una descomposición más rápida (Binkley, 1993).

Algunas propiedades físicas de los suelos como la textura influyen también en el contenido de materia orgánica, ésta se ve protegida por adsorción en suelos arcillosos y agregados; la presencia de agua es esencial para la circulación de nutrientes en el suelo; el pH tiene un efecto pequeño, sólo cuando es ácido (<4) ocasiona una disminución en las tasas de descomposición (White, 1997); la calidad del humus –en términos de su contenido de nutrientes y de los tipos de moléculas orgánicas que contiene- también está directamente relacionada con las tasas de descomposición (Binkley, 1993); así como la composición de las poblaciones microbianas presentes en el suelo.

1.5 El cambio en el uso del suelo en los bosques.

El cambio en el uso del suelo se define como los cambios en el uso, gestión o manejo de las tierras ocasionados por el hombre (IPCC, 2001). Este factor ha jugado un papel muy importante en la emisiones de GEI, ya que ha sido el responsable del 33% de estas emisiones durante el S. XX (IPCC, 2001). El ritmo, magnitud y alcance espacial de las alteraciones humanas, consecuencia de los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo, no tienen precedentes en la historia (Lambin et al., 2001).

Se estima que la superficie de bosques existentes en el mundo es de 3,870 millones de hectáreas (30% de la superficie terrestre del planeta). Los bosques tropicales y subtropicales comprenden el 56%, mientras que el 44% restante corresponde a los bosques templados y boreales. Sin embargo durante el decenio 1990-2000, la superficie de los bosques ha sido reducida en una tasa neta anual de 9.4 millones de hectáreas, cifra que representa la diferencia entre la tasa anual de deforestación 14.6 millones de hectáreas y la tasa anual de reforestación 5.2 millones de hectáreas (FAO, 2001).

En una escala global, el cambio en el uso del suelo ha sido y es una fuente de emisiones de CO₂ a la atmósfera, se calcula que en el decenio 1980-1990 las emisiones de carbono por cambio de uso del suelo fueron de 2 a 2.4 Gt C por año (Figura 6).

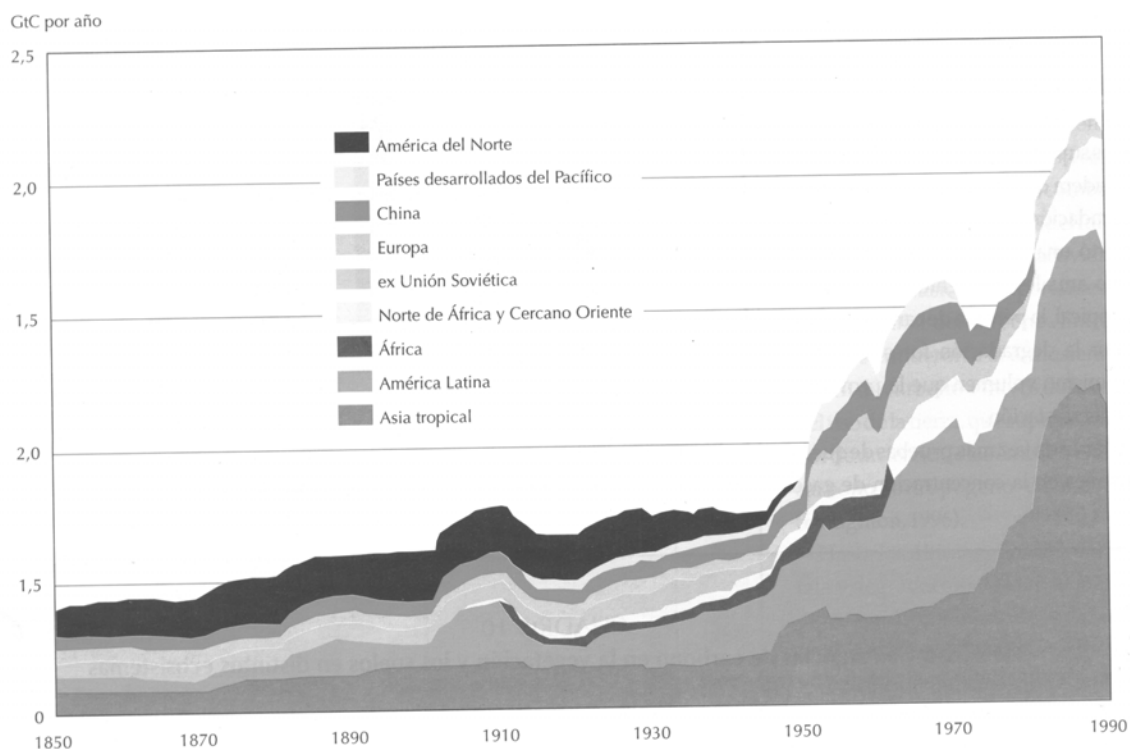


Figura 6. Emisiones de carbono mundiales debidas al cambio de uso de suelo entre 1850 y 1990. Total acumulado por regiones. (Fuente: Houghton, 1999)

La deforestación para tierras agrícolas conlleva a pérdida de C de los almacenes forestales. Por ejemplo se ha estimado que hasta el 90% del carbono contenido en la vegetación y cerca del 25% del carbono contenido en los suelos -en el primer metro de profundidad- se pierden hacia la atmósfera como resultado de este proceso. Otras emisiones de GEI resultan de los usos subsecuentes de estas tierras, cerca de la mitad de los bosques transformados en campos agrícolas se degradan tras un breve periodo de uso (Houghton, 1994).

1.5.1 EL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO EN LOS BOSQUES DE MÉXICO

México cuenta con 55,205,000 hectáreas de bosques, que representan el 28.9% del territorio nacional. La tasa de deforestación se estima entre 370,000 y 1,500,000 ha año⁻¹ (0.8 a 2%); asimismo 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). En México, el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal de los ecosistemas forestales han generado cerca de 150,000 toneladas de C al año, siendo la segunda fuente de emisiones de GEI, sólo detrás de las emisiones producidas por consumo de combustibles fósiles (Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático, 2001). Lo anterior subraya la importancia que tiene la deforestación en las emisiones de gases invernaderos en México.

Se estima que en la década de los ochenta la deforestación anual en nuestro país alcanzó 670,000 ha/año, de esa cifra 500,000 ha correspondieron a selvas y 170,000 a bosques templados (Maser, 1995). Las tasas de deforestación continúan siendo altas

tanto en selvas como en bosques templados. Aproximadamente el 80% de la deforestación total se concentra en el centro y sur de México (Maserá et al., 1997).

1.5.2 EL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO EN LOS BOSQUES DE MICHOACÁN.

El estado de Michoacán ocupa una extensión de 5,986,400 hectáreas que representa el 3% de la superficie total del territorio nacional; la superficie forestal total de Michoacán se estima en 4,206,451 hectáreas que corresponde al 70.3% de la superficie total del estado y el 2.97% de la superficie forestal nacional, de las cuales 1,540,493 hectáreas corresponden a bosques templados y poco más de 1 millón a selvas medianas y bajas. Los bosques templados se localizan principalmente en los macizos montañosos del Eje Neovolcánico y de la Sierra Madre del Sur (Comisión Forestal del Estado de Michoacán, 2001).

Las tasas de deforestación en Michoacán son de 1.8 y 1% anual para bosques templados y tropicales, respectivamente, ocupando el tercer lugar a nivel nacional (sólo por debajo de Chiapas y Oaxaca). Entre 1975 y 1993, la superficie de los bosques templados en el estado se redujo en un 28% (de 1,811,232 a 1,297,188 ha), mientras que las selvas perdieron el 16.9% (Bocco et al., 2001). Lo anterior sugiere que los bosques templados están siendo más deforestados que los bosques tropicales. Por otra parte, las plantaciones forestales crecen a un ritmo de 3,000 ha año⁻¹, por lo que no contribuyen significativamente a contrarrestar los efectos de la deforestación, representando solo el 6% del área deforestada (Comisión Forestal del Estado de Michoacán, 2001).

Las causas dominantes del proceso de deforestación son la expansión de las fronteras agropecuarias, la tala clandestina y los incendios, provocados principalmente para aumentar la regeneración de pastizales destinados a la ganadería, así como a la presencia de plagas.

1.5.3 EL CAMBIO EN EL USO DEL SUELO EN LA REGIÓN PURÉPECHA

En Michoacán, dentro de la provincia del Eje Neovolcánico se encuentra la subprovincia Neovolcánica Tarasca conocida también como Región Purépecha. Existen inconsistencias entre diversos estudios sobre el cambio en el uso de suelo en esta región; uno de ellos concluye que entre 1985 y 1993, la superficie forestal se redujo 22,123 ha, equivalente a una deforestación anual de 3,160 hectáreas (Maserá et al., 1998). Otro estudio reporta que entre 1979 y 1994 se perdieron 124,475 ha de un total de 335,082 ha de superficies arboladas existentes, correspondientes al 37.15%, con una tasa anual de deforestación de 2.48% (SARH, 1994) que es 0.6% superior a la del estado, de acuerdo con los datos mencionados para Michoacán (Comisión Forestal del Estado de Michoacán, 2001).

1.6 Efecto del cambio en el uso del suelo sobre los contenidos de carbono

Los cambios de cobertura vegetal o uso de suelo afectan los contenidos de C del suelo (Bolin y Sukumar, 2000). Por ejemplo, la deforestación, generalmente, implica una pérdida considerable del C del suelo en el lapso de unas décadas, la magnitud de dichas pérdidas depende de los factores que controlan la dinámica del suelo antes explicados y varían entre diversos ecosistemas, por ello existen discrepancias sobre la cantidad de C del suelo que se pierde, aunque hay consenso sobre la disminución de carbono total por cambio en el uso del suelo de bosques a sistemas agrícolas y la recuperación del carbono cuando el proceso de cambio en el uso del suelo se invierte de un sistema agrícola a un sistema forestal natural, una plantación o un pastizal. (Post y Kwon, 2000; Guo y Gifford, 2002; Murty et al., 2002).

Para conocer el sentido y la magnitud de los cambios en los contenidos de C en el suelo, es necesario determinar las diversas categorías de cambio en el uso del suelo:

- Bosque a pastizal
- Pastizal a bosque secundario
- Pastizal a plantación forestal
- Bosque a plantación forestal
- Bosque a agricultura
- Pastizal a agricultura
- Agricultura a plantación forestal
- Agricultura a bosque o vegetación secundaria
- Agricultura a pastizal.

(Guo y Gifford, 2002)

1.6.1 BOSQUE A PASTIZAL

Cuando un bosque nativo es transformado en un pastizal se pierde una considerable cantidad de carbono de la vegetación, ello no implica necesariamente pérdidas en el contenido de carbono de los suelos (Post y Kwon, 2000), por lo que no existe una tendencia clara sobre los cambios en el contenido de C de los suelos en este proceso (Murty et al., 2002); en algunos casos el contenido de C aumenta bajo ciertas condiciones de precipitación pluvial de 3000 a 4000 mm anuales y a determinadas profundidades –menores a un metro– (Guo y Gifford, 2002).

1.6.2 PASTIZAL A BOSQUE SECUNDARIO

Un pastizal da lugar a un bosque secundario cuando el sitio es abandonado y dejan de realizarse en él actividades humanas, generando un proceso de sucesión que reduce los almacenes de C en el suelo, aunque no de manera significativa (Guo y Gifford, 2002).

1.6.3 PASTIZAL A PLANTACIÓN FORESTAL

Este cambio en el uso del suelo es similar al anterior, aunque en este caso intervienen actividades humanas como la preparación del sitio, la plantación de los árboles que pueden alterar la estructura del suelo, provocando la ruptura de microagregados, y la

elección de las especies arbóreas que puede afectar la magnitud de las reservas de carbono en los suelos, ya que cada especie tiene diferentes tasas de asimilación y translocación de carbono (Lugo y Brown, 1993).

Mientras que la plantación de especies hojosas tiene pocos efectos en las cantidades de C en suelo, el uso de especies coníferas reduce significativamente el contenido de carbono en suelos (Guo y Gifford, 2002), aunque esta disminución de carbono en el horizonte mineral del suelo, puede quedar compensada por la acumulación de materia orgánica en el mantillo (Parfitt et al., 1997).

La precipitación también juega un papel importante en los depósitos de carbono en suelos cuando se da la transición de pastizal a plantación forestal; a mayor precipitación hay disminución de los niveles de C, esto puede deberse a que una alta precipitación pluvial -a pesar de proporcionar una mayor humedad que facilitaría la descomposición- está asociada a una mayor lixiviación de carbono a los horizontes más profundos del suelo (Jenny, 1980).

1.6.4 BOSQUE A PLANTACIÓN FORESTAL

Al igual que en el caso anterior, el tipo de especies elegidas para la plantación y la precipitación pluvial ejercen los efectos principales sobre los almacenes de carbono con tendencias similares: mayor pérdida de C en suelos al plantar especies de coníferas y con alta precipitación pluvial; también se ha observado que cuando las plantaciones son menores a 40 años, las reservas de carbono se reducen hasta en un 20%, sin embargo, los niveles de carbono recuperan su valor original cuando las plantaciones tienen más de 40 años de edad (Guo y Gifford, 2002).

1.6.5 BOSQUE A AGRICULTURA Y PASTIZAL A AGRICULTURA

Por lo general la conversión de cualquier uso del suelo hacia sistemas agrícolas origina una disminución en los contenidos de carbono del suelo, (FAO, 2001; Murty et al., 2002), gran parte de esta pérdida puede atribuirse a la reducción en la entrada de materia orgánica, un mayor grado de descomposición de los residuos de los cultivos y los efectos de la labranza sobre la protección física de nutrientes por la ruptura de los macroagregados (Post y Kwon, 2000).

En el primer caso, cuando el bosque se transforma en campos agrícolas, existe una pérdida considerable del carbono en los suelos, que varía de sitio a sitio; algunos estudios consideran que se pierde en promedio desde 30% (Murty et al., 2002) hasta 50% (Guo y Gifford, 2002), principalmente en los primeros 20 cm de profundidad del suelo.

En el segundo caso, la transformación de pastizales en áreas de cultivo agrícola provoca una disminución del 50% o más en los niveles de carbono del suelo y se acentúa con el paso del tiempo hasta estabilizarse, aunque no se llega a recuperar el nivel original de carbono (Guo y Gifford, 2002).

1.6.6 AGRICULTURA A PLANTACIÓN FORESTAL, AGRICULTURA A BOSQUE O VEGETACIÓN SECUNDARIA Y AGRICULTURA A PASTIZAL.

Cuando a las tierras que han servido para cultivos agrícolas se les abandona, permitiendo el crecimiento de vegetación natural o se establecen en ellas plantaciones de árboles frutales o forestales, el carbono orgánico del suelo comienza a acumularse (Post y Kwon, 2000).

Esta acumulación de carbono es lenta y no alcanza los niveles iniciales que tenía la vegetación original, a excepción del cambio a vegetación secundaria que en unas décadas puede llegar a contener la misma cantidad de carbono en suelo que los bosques maduros (Guo y Gifford, 2002).

Cuando el cambio es de agricultura a pastizal, se observa también una acumulación de carbono que es mayor en las capas superficiales y disminuye a medida que aumenta la profundidad.

Al analizar todos los posibles cambios en el uso del suelo, se llega a la conclusión de que se necesitan más estudios para comprender como dichos cambios en el uso de suelo afectan las existencias de carbono orgánico total en los suelos y la dinámica de este elemento químico en los ecosistemas forestales, especialmente en los bosques templados de nuestro país que están bajo una presión fuerte de deforestación (Masera et al., 2001).

Este tipo de estudios podrían ayudar a estimar el potencial de captura de carbono atmosférico de los suelos, lo cual es esencial para mitigar los efectos de cambio climático. (Lal, 2003).

Para estimar la capacidad de captura de carbono del suelos es necesario cuantificar los contenidos de carbono previos al cambio de uso de suelo (conocidos como niveles de base); el desarrollo de niveles de base para los diferentes ecosistemas es uno de los retos primordiales que enfrenta la instrumentación de proyectos de uso del suelo, cambio en el uso del suelo y silvicultura (LULUCF, por sus siglas en inglés) que el IPCC propone como estrategias de mitigación ante el cambio climático (García-Oliva y Masera, 2004).

II. OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo principal:

- Conocer los contenidos de C orgánico del suelo bajo diferentes usos de suelo y cobertura vegetal en la región Purépecha en el estado de Michoacán, México.

Dentro de este trabajo se incluyen los siguientes objetivos particulares:

- Categorizar las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo en el área de estudio.
- Determinar la fragmentación de las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo en el área de estudio.
- Diferenciar las concentraciones de carbono en tres diferentes profundidades de suelo en las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo.
- Estimar los contenidos de carbono orgánico del suelo por clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

III. MÉTODOS

3.1 Área de Estudio.

El área de estudio es la Región Purépecha que tiene una superficie de 580 mil hectáreas y se localiza entre las siguientes coordenadas extremas: 19° 15' a 20° 00' de latitud norte y 101° 15' a 102° 45' de longitud oeste (INEGI, 1990). Esta región se localiza en la porción centro occidente del estado de Michoacán y comprende 19 municipios² que se ubican total o parcialmente por arriba de los 1,500 m.s.n.m de altitud (Cuadro 3 y Figura 7).

Municipio	Superficie total (ha)	Municipio	Superficie total (ha)
Tangancícuaro	38858.871	Peribán	17745.044
Cherán	22274.975	Ziracuaretiro	10095.783
Los Reyes	38223.451	Salvador Escalante	49140.056
Charapan	23540.228	San Juan Parangaricutiro	20946.914
Nahuatzen	30434.334	Taretan	2723.596
Paracho	24246.146	Chichota	30566.012
Tzintzuntzan	16914.927	Quiroga	21855.618
Uruapan	79223.937	Erongarícuaro	24376.887
Pátzcuaro	43526.215	Tancítaro	64954.147
Tingambato	18848.600	Total	578495.741

Los municipios sombreados son aquellos que no entran en su totalidad en el área de estudio.

Cuadro 3. Superficie total y por municipios del área de estudio (Ordóñez, 2002).

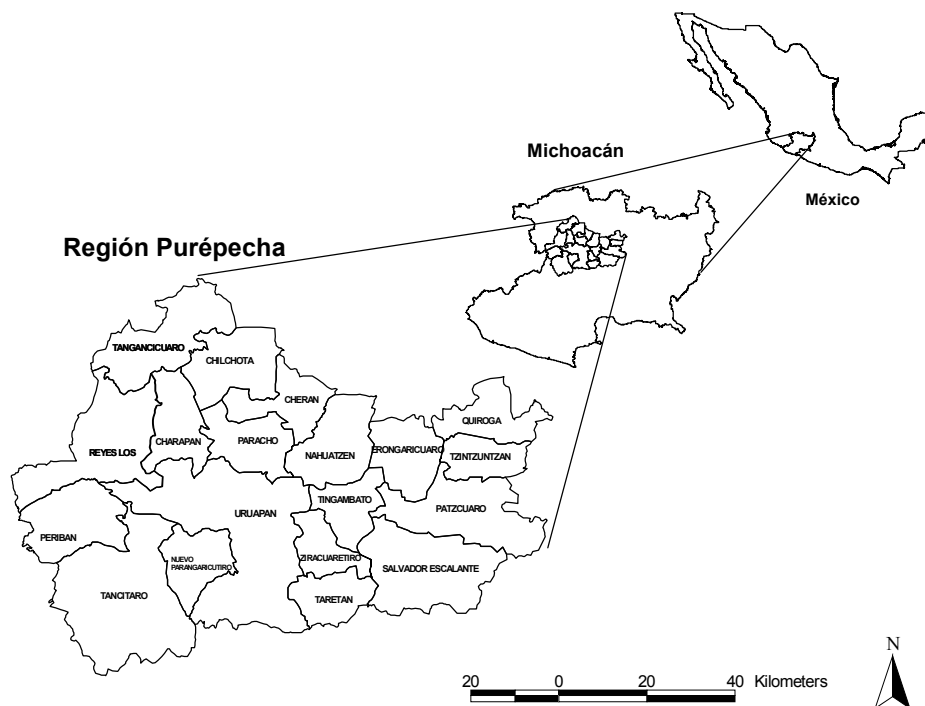


Figura 7. Localización y división municipal del área de estudio.

² Los municipios de la región varían de acuerdo a los criterios seleccionados para su delimitación.

La Región Purépecha recibe este nombre debido a la presencia de las comunidades indígenas que pertenecen a dicho grupo étnico y se ubica dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal. Por su morfología geológica dominante está clasificada como una sierra volcánica compleja con llanos. A los 2,000 m s.n.m. presenta vulcanismo reciente, como el Parícutín, con paisaje de sierras volcánicas y conos cineríticos basálticos de una sola fase eruptiva, además de conos de más de una fase por arriba de los 3,000 m s.n.m. y pequeños valles intermontanos o llanuras aluviales, que son formaciones más recientes originadas por la deposición de cenizas y carbón, y posteriormente transformadas por la integración de materiales de origen eólico y aluvial. (INEGI, 1997).

De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1988), la región presenta un clima templado con dos grupos principales, los templados húmedos y subhúmedos (Cb(w2) (w) y C(m)(w)) y los calientes subhúmedos, desde (A)Cb(w2)(w) hasta (A)Ca(wo)(w). Existe una precipitación anual de 700 hasta 2,000 mm en los lugares más altos, una frecuencia de heladas entre 20 y 40 días anuales y una frecuencia de granizadas de 3 días al año. La temperatura media anual es de 18 grados centígrados, con un patrón de lluvias estacional con lluvias en verano (García, 1988).

Los bosques templados son los ecosistemas predominantes de la región, forman macizos ubicados en altitudes entre 1,500 y 3000 msnm, entre ellos destacan los bosques de pino (Madrígal-Sánchez, 1982; Caballero et al., 1992), bosques de pino-encino (Madrígal, 1982), bosques de encino (Madrígal, 1982; Caro, 1987), bosques de oyamel (Madrígal, 1982; Caro, 1987), y bosques mesófilo de montaña (Cruz, inédito); otras comunidades vegetales incluyen el matorral de Baccharis, el matorral xerófilo y los pastizales inducidos.

El bosque de pino se desarrolla entre los 1,600 y hasta los 3,200 msnm sobre suelos profundos, bien drenados y ricos en materia orgánica, en ocasiones se forman asociaciones de pinos con especies de encino. El bosque de encino, se encuentra tanto en sierras como en llanuras y mesetas en altitudes de 1,800 a 2,800 m s.n.m; éstos se desarrollan en climas que varían de templado subhúmedo a semicálido y cálido subhúmedo con precipitaciones entre 800 y 1,500 mm anuales y temperaturas medias de 14 a 18°C. Los bosques de oyamel se encuentra en áreas muy reducidas con altitud entre los 2,500 y 3,100 m s.n.m, en climas templados fríos; con frecuencia se les encuentra asociados con especies de pino y encino, formando bosques mixtos.

3.2 Características de los suelos de la Región Purépecha.

Los Andosoles son los suelos predominantes ya que ocupan el 80% de la superficie de la región (5,000 km²). Estos suelos se forman a partir del intemperismo de tefras y materiales con vidrio volcánico del Terciario y Cuaternario (Alcalá et al., 2001). La textura de la mayoría de estos suelos es franco limosa y el resto varía de franco limosa a franco arenosa. Los suelos son ácidos (pH de 4.9 a 6.9), predominando los suelos de acidez moderada (6.3). La capacidad de intercambio catiónico es muy alta (>40 a 75 cmol kg⁻¹ en 52% de los horizontes) y alta (12 a <40 cmol kg⁻¹). La saturación de bases (SB) promedio es de 42% y varía de 13 a 77%. Se presenta un alto contenido de materiales no cristalinos como aluminio y hierro. En promedio se presenta 13% de alófono que varía de

un 3 a un 26%. La retención de fósforo es mayor al 33%, alcanzando valores mayores al 85%, por lo cual están limitados por la disponibilidad de este nutrimento. Los andosoles de esta región pueden ser húmicos, mólicos y órticos, que tienen media, baja y muy baja cantidad de materia orgánica respectivamente (INEGI, 1997).

El 20% de los suelos restantes son Luvisoles y Acrisoles. Los Luvisoles son suelos arcillosos de baja permeabilidad, drenaje lento, ricos en materia orgánica, ligeramente ácidos con capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases moderados, concentraciones de sodio y potasio moderadas y de calcio y magnesio elevadas, se ubican en la ribera oeste del Lago de Pátzcuaro, en Taretan y en el límite occidental del área de estudio. Los Acrisoles son suelos ácidos, con textura franca y arcillosa, poco permeables, ricos en materia orgánica, y con saturación de bases y capacidad de intercambio iónico bajas. Se encuentran principalmente en la zona lacustre de Pátzcuaro (INEGI, 1997).

Los Litosoles y Regosoles clasificados como Leptosoles (FAO, 1998) se encuentran en menor proporción en la región, son suelos delgados y pedregosos que se localizan en áreas como en el Cerro Zirahuén, Nocutzepo, Norte de Uruapan y el Volcán Parícutín, en los alrededores de Angahuan y al Norte de Nuevo San Juan Parangaricutiro. Además, en el valle del lago de Pátzcuaro pueden encontrarse Vertisoles y Feozem (Comisión Forestal del Estado de Michoacán, 2001).

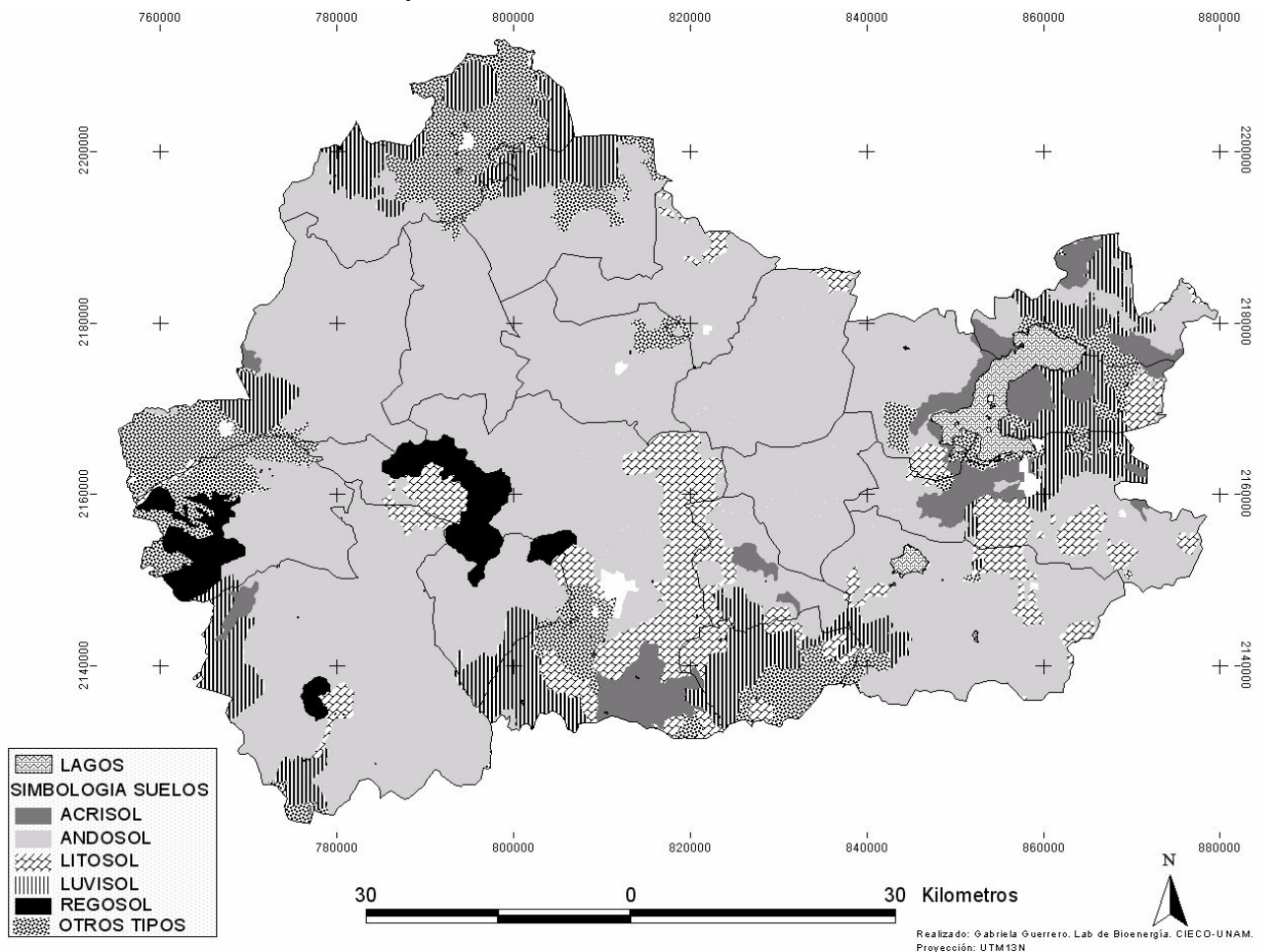


Figura 8. Mapa de suelos de la región Purépecha (Fuente: Semarnat, 2000)

3.3 Selección de sitios para muestreo

A partir de una revisión bibliográfica de estudios previos, (Maserá et al., 1998) mapas (INEGI, 1980 y 2000) y cartas temáticas (Comisión Forestal del Estado de Michoacán, 1995), así como recorridos de prospección en la zona se delimitó el área de estudio (Ordóñez, 2002); al interior de ésta se registraron diferencias basadas en la fisiografía y los cambios dominantes en el uso del suelo que permitieron la identificación de 4 subregiones con características particulares dentro de la Región Purépecha.

3.3.1 SUBREGIONALIZACIÓN

Dentro del área de estudio, el relieve ha originado una cuenca lacustre al oriente, una meseta al centro, un área montañosa en la porción suroeste y una vertiente al sur que limita con la Depresión del Balsas (Figura 9); por otra parte, cada una de estas áreas presenta cambios dominantes particulares en el uso del suelo debido a la diversidad de hábitos, costumbres e instrumentos de administración forestal o agrícola aplicados en cada una de ellas.

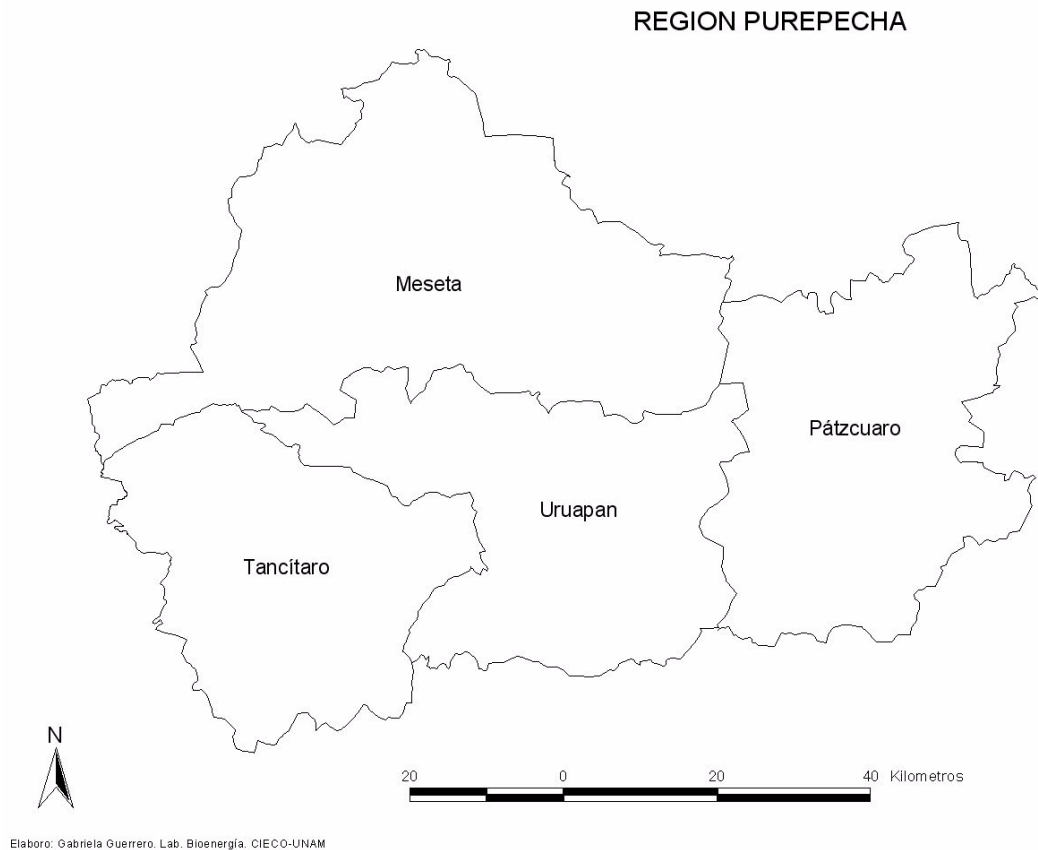


Figura 9.. Subregiones que comprende la región purépecha (Fuente: Ordóñez, 2002)

Las subregiones identificadas en el área de estudio son: Pátzcuaro, Meseta, Tancitaro y Uruapan; los criterios aplicados para esta subregionalización se resumen en el Cuadro 4.

Criterios		Subregión	Municipios
Fisiografía	Cambios dominantes del uso del suelo		
Meseta	Tierras que originalmente estaban cubiertas de bosques que actualmente son agrícolas.	Meseta (M)	Tangancícuaro, Chilchota, Paracho, Nahuatzen, Charapan y Los Reyes
Cuenca lacustre	Tierras con cubierta boscosa que se cambiaron a uso agrícola y posteriormente se abandonaron y hoy presentan una regeneración natural, existe una veda forestal permanente.	Pátzcuaro (P)	Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan, Erongarícuaro y Villa Escalante
Volcán del Tancítaro	Tierras con cobertura forestal que se están transformando a plantaciones	Tancítaro (T)	Nuevo San Juan Parangaricutiro y Tancítaro
Vertiente del Balsas	Tierras que originalmente estaban cubiertas de bosque y ahora hay plantaciones y huertos.	Uruapan (U)	Uruapan, Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan

Cuadro 4. Subregiones que comprende la región purépecha (Fuente: Ordóñez, 2002).

3.3.2 CLASES DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO

Para la selección de los sitios de muestreo se analizó la imagen de satélite Landsat ETM del área de estudio para el año 2000, a fin de identificar las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo (CV-US). Se tomó como base la clasificación del Inventario Forestal Nacional del año 2000, para los fines de este estudio las 21 clases totales fueron reagrupadas en 15 (Cuadro 5-5b).

Para evitar la inclusión de otras clases de cobertura vegetal poco representativas de la región como selva mediana o selva baja se estableció como límite inferior altitudinal una cota de 1,500 m s.n.m.

Se realizó la verificación en campo para corroborar la correspondencia entre la clasificación de la imagen y los puntos de control. Desde el punto de vista de los almacenes de carbono se consideró importante analizar las diez primeras clases de cobertura vegetal y uso del suelo.

Clases en este estudio	Siglas	Clases del Inventario Nacional Forestal
Agricultura	AGR	Agricultura de humedad Agricultura de temporal con cultivos anuales
Bosque de encino	BE	Bosque de encino
Bosque de pino	BP	Bosque de pino
Bosque de pino – encino	BPE	Bosque de pino – encino (incluye encino – pino) Bosque mesófilo de montaña
Bosque con vegetación secundaria	BVS	Bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea Bosque de pino - encino (incluye encino - pino) con vegetación secundaria
Agricultura de cultivos permanentes	FRU	Agricultura de temporal con cultivos permanentes y semipermanentes
Matorrales	MAT	Matorral sub tropical Matorral sub tropical con vegetación arbustiva y herbácea.
Bosque de oyamel	OY	Bosque de oyamel (incluye ayarín y cedro)
Pastizal	PAS	Pastizal inducido
Plantación forestal	REF	Plantación forestal

Cuadro 5. Clases de cobertura vegetal y uso del suelo identificadas en el área de estudio.
(Fuente: Ordóñez, 2002)

Area sin vegetación aparente	ASV	Area sin vegetación aparente
Asentamientos humanos	AH	Asentamientos humanos
Cuerpos de agua	CA	Lago de Pátzcuaro Lago de Zirahuén
Otros	OTR	Agricultura de riego (incluye riego eventual)
Sin clasificar	SC	Selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea; Popal y Tular

Cuadro 5b. Clases de cobertura vegetal y uso del suelo identificadas en el área de estudio no elegibles para la selección de sitios de muestreo

El mapa con las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo se muestra a continuación (Figura 10).

Clasificación de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo

SIMBOLOGIA

- ∟ Limites Subregiones
- Agricultura
- Bosque Encino
- Bosque Pino
- Bosque Pino-encino
- Bosque con Veg Sec
- Frutales
- Matorral
- Bosque Oyamel
- Pastizal
- Reforestación
- Otras

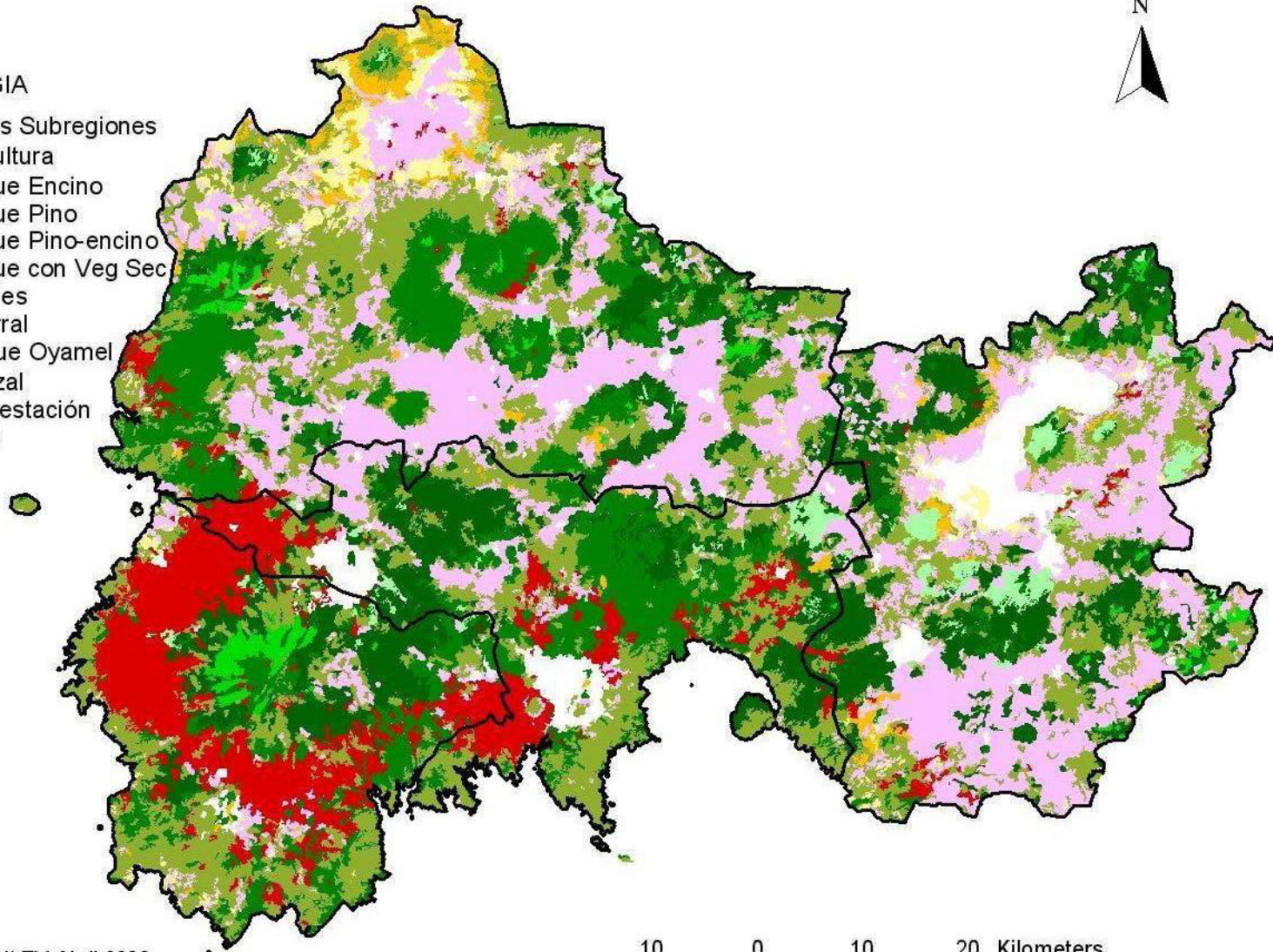


Imagen Landsat TM Abril 2000.
Clasificación Supervisada Gabriela Guerrero

10 0 10 20 Kilometers

Figura 10. Mapa de clases de cobertura vegetal y uso del suelo para el área de estudio.

Las superficies cubiertas por cada una de estas clases de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel regional son las siguientes:

Clase de CV-US	Superficie (ha)	%
Agricultura	132,453.92	23
Bosque con Vegetación Secundaria	151,651.49	26
Bosque Encino	9,605.82	2
Bosque Oyamel	7,410.69	1
Bosque Pino	82,420.50	14
Bosque Pino-encino	87,360.15	15
Frutales	51,273.82	9
Matorral	10,058.23	2
Pastizal	14,421.60	2
Reforestación	833.27	<1
Otros	29,466.10	5
Total	576,955.60³	100

Cuadro 6. Superficie de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo en la región purépecha.

A nivel subregional la distribución superficial de las clases de cobertura vegetal y uso de los suelos contemplados en este trabajo es la siguiente:

Subregión MES		
Clase de CV-US	Superficie (ha)	%
Agricultura	60,174.06	29
Bosque con Vegetación Secundaria	58,195.57	28
Bosque Encino	1,189.15	<1
Bosque Oyamel	2,633.11	1
Bosque Pino	39,080.75	19
Bosque Pino-encino	18,111.90	9
Frutales	3,288.00	2
Matorral	7,034.67	3
Pastizal	10,499.93	5
Reforestación	217.04	<1
Otros	7,096.94	3
Total	207,521.11	100

³ La diferencia en las superficies del área de estudio entre el Cuadro 3 y el Cuadro 6 (1,540 ha) se deben al procesamiento de la imagen satelital en el sistema de información geográfica y corresponden a 0.2% del total.

Subregión PAT		
Clase de CV-US	Superficie (ha)	%
Agricultura	55,480.91	36
Bosque con Vegetación Secundaria	34,641.64	22
Bosque Encino	5,634.19	4
Bosque Oyamel	1,489.92	<1
Bosque Pino	4,538.50	3
Bosque Pino-encino	31,558.73	20
Frutales	2,073.77	1
Matorral	2,339.60	1
Pastizal	2,796.42	2
Reforestación	552.41	<1
Otros	13,811.52	9
Total	154,917.63	100

Subregión TAN		
Clase de CV-US	Superficie (ha)	%
Agricultura	4,434.39	4
Bosque con Vegetación Secundaria	27,778.33	27
Bosque Encino	616.11	<1
Bosque Oyamel	3,264.04	3
Bosque Pino	16,533.49	16
Bosque Pino-encino	15,122.58	15
Frutales	32,479.29	31
Matorral	214.02	<1
Pastizal	1,116.40	1
Reforestación	20.68	<1
Otros	2,036.56	2
Total	103,615.90	100

Subregión URU		
Clase de CV-US	Superficie	%
Agricultura	12,364.55	11
Bosque con Vegetación Secundaria	31,035.95	28
Bosque Encino	2,166.37	2
Bosque Oyamel	23.62	<1
Bosque Pino	22,267.76	20
Bosque Pino-encino	22,566.94	20
Frutales	13,432.76	12
Matorral	469.94	<1
Pastizal	43.14	<1
Reforestación	8.85	<1
Otros	6,521.08	6
Total	110,900.96	100

Cuadro 7. Superficie de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional.

Con estos datos se realizó un análisis de fragmentación a nivel subregional y regional para determinar la cantidad y la superficie promedio de los fragmentos por cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

3.3.3 ESTRATEGIA DE MUESTREO EN CAMPO

Una vez identificadas las clases se procedieron a seleccionar sitios de muestreo en las cuatro subregiones en base a las siguientes consideraciones:

1. Que en el sitio estuvieran representadas el mayor número de clases de cobertura vegetal y uso del suelo.
2. Que el sitio tuviese una superficie mínima de cuatro hectáreas para identificar claramente la clase de CV y US en la imagen de satélite.
3. Contar con acceso al sitio y con el permiso de sus propietarios.

Los sitios seleccionados se presentan en el siguiente mapa (Figura 11).

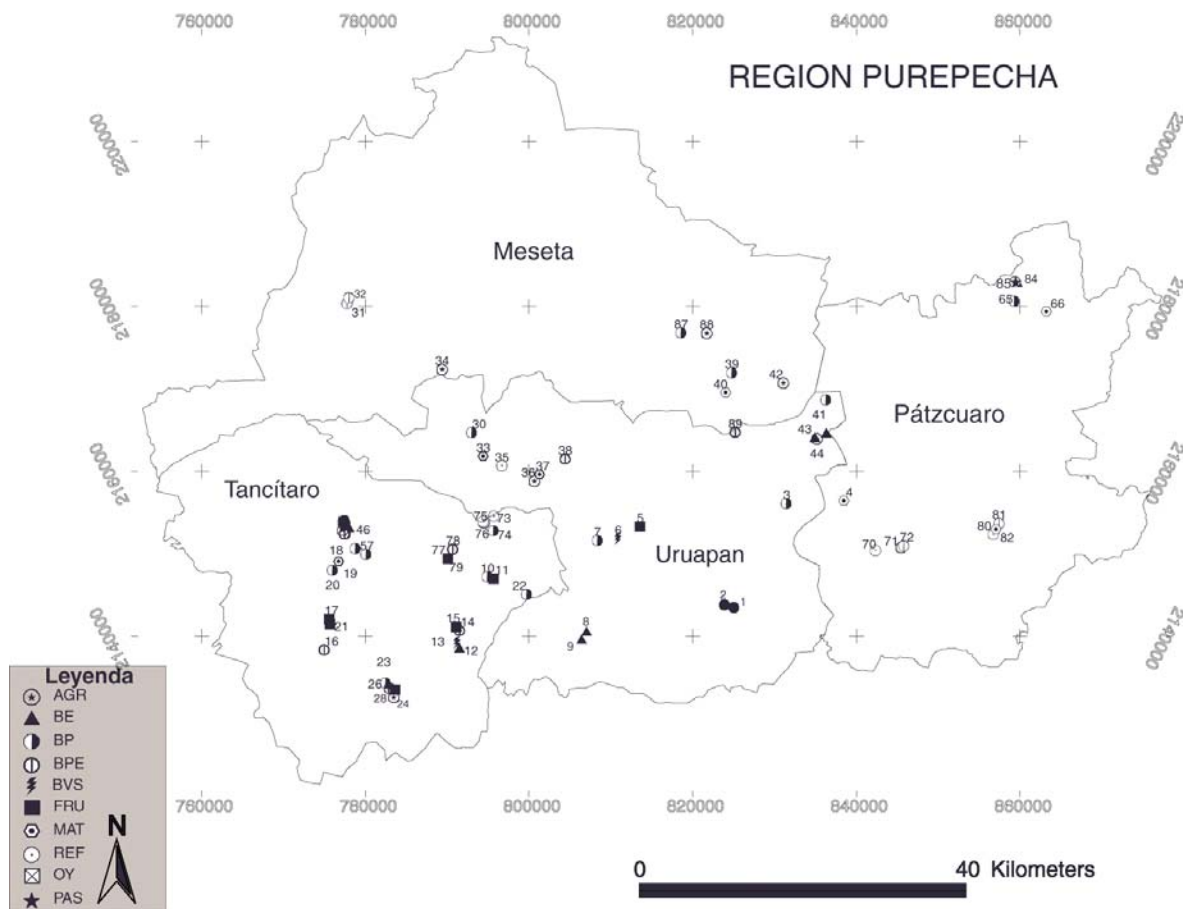


Figura 11. Localización de los sitios de muestreo.

En el cuadro 8 se presentan los sitios de colecta y la clase de cobertura vegetal y uso de suelo. Una vez ubicados los sitios, éstos fueron geoposicionados con un GPS Magellan Colortrak. En cada uno de ellos se colectaron datos generales, como la fecha, localidad, altitud, pendiente, orientación geográfica, tipos de relieve (pies de monte, lomeríos, etc.), historia de sitio e información general sobre la cobertura vegetal. (Ordóñez, 2002)

No.	CLASE	Subregión	No.	CLASE	Subregión	No.	CLASE	Subregión
0	CLARO	Control	31	BPE	Meseta	70	REF	Pátzcuaro
0	AGR		32	BPE	Meseta	71	AGR	Pátzcuaro
0	AGR		33	MAT	Uruapan	72	BPE	Pátzcuaro
0	AGR		34	AGR	Meseta	73	REF	Tancítaro
0	PAS		35	REF	Uruapan	74	BP	Tancítaro
1	BP	Uruapan	36	AGR	Uruapan	75	REF	Tancítaro
2	BPE	Uruapan	37	MAT	Uruapan	76	AGR	Tancítaro
3	BP	Uruapan	38	BPE	Uruapan	77	REF	Tancítaro
4	MAT	Pátzcuaro	39	BP	Meseta	78	BPE	Tancítaro
5	FRU	Uruapan	40	MAT	Meseta	80	REF	Tancítaro
6	BVS	Uruapan	41	BP	Uruapan	81	BPE	Pátzcuaro
7	BP	Uruapan	42	AGR	Meseta	82	MAT	Pátzcuaro
8	BE	Uruapan	43	BE	Uruapan	83	BP	Pátzcuaro
9	BE	Uruapan	44	AGR	Uruapan	84	BE	Pátzcuaro
10	BP	Tancítaro	45	BE	Uruapan	85	BPE	Pátzcuaro
11	FRU	Tancítaro	46	OY	Tancítaro	86	PAS	Pátzcuaro
12	BE	Tancítaro	47	OY	Tancítaro	87	BP	Meseta
13	BVS	Tancítaro	48	BP	Tancítaro	88	AGR	Meseta
14	BPE	Tancítaro	49	MAT	Tancítaro	89	BPE	Uruapan
15	FRU	Tancítaro	50	BE	Tancítaro			
16	BPE	Tancítaro	51	BE	Tancítaro			
17	FRU	Tancítaro	52	MAT	Tancítaro			
18	OY	Tancítaro	53	FRU	Tancítaro			
19	MAT	Tancítaro	54	FRU	Tancítaro			
20	BP	Tancítaro	55	OY	Tancítaro			
21	FRU	Tancítaro	56	BPE*	Tancítaro			
22	BP	Tancítaro	57	BP	Tancítaro			
23	PAS	Tancítaro	58	BP	Tancítaro			
24	AGR	Tancítaro	59	OY	Tancítaro			
25	BPE	Tancítaro	60	BPE	Tancítaro			
26	BP	Tancítaro	61	AGR	Tancítaro			
27	FRU	Tancítaro	62	OY	Tancítaro			
28	AGR	Tancítaro						
29	BPE	Uruapan	65	BP	Pátzcuaro			
30	BP	Uruapan	66	MAT	Pátzcuaro			

Los sitios sombreados son aquellos donde no se colectaron o procesaron en laboratorio muestras de suelo.

La información completa y localización geográfica de los sitios de muestreo está disponible en Ordóñez, 2002.

Cuadro 8. Sitios de muestreo por subregiones y por clase de cobertura vegetal y uso de suelo.

3.4 Diseño para la colecta de muestras de suelo en campo

La metodología empleada en campo para la colecta de suelo, se basó en un diseño anidado (Figura 12) que permitió la colecta de muestras y sus réplicas; se seleccionaron 83 sitios donde además de muestras de suelo se colectaron muestras de mantillo y datos de biomasa aérea y materia leñosa muerta para otros estudios.

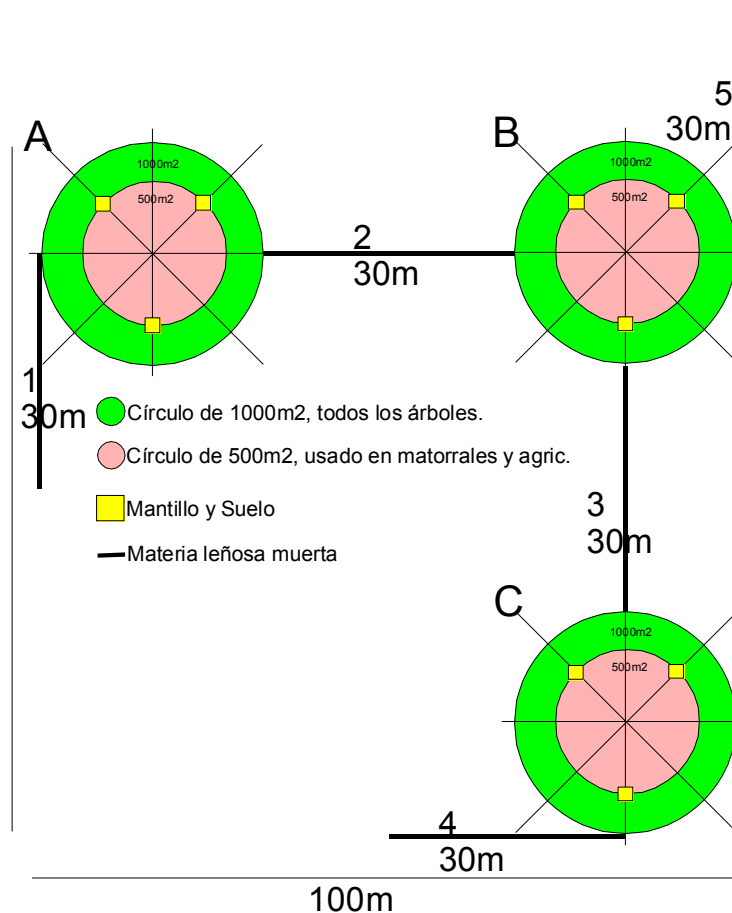


Figura 12. Diseño de muestreo empleado para cada sitio.
(Fuente: Ordóñez, 2002)

En cada uno de los sitios de muestreo se eligió aleatoriamente un punto que sirvió de centro para el primer círculo (A) de 1000 m². A partir de este punto se trazaron los transectos que permitieron el establecimiento de los otros 2 círculos (B y C) en cuyo interior se ubicaron los 3 cuadros de 50 cm x 50 cm, sobre la circunferencia del círculo interior de 500 m², para la colección de mantillo y suelo.

En cada sitio se establecieron 3 círculos, en cada círculo se ubicaron 3 cuadros para coleccionar muestras de suelo a 3 profundidades distintas, colectándose un total de 27 muestras por sitio.

En cada uno de los cuadros se colectó una muestra de suelo a partir del horizonte OO mediante un nucleador con anillos cilíndricos de aluminio de 48 mm de diámetro y un volumen conocido a tres profundidades distintas: 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm (Figura 13). Las muestras de suelo fueron guardadas en bolsas de plástico transparente debidamente etiquetadas y transportadas al laboratorio para su posterior análisis.



Figura 13. Algunos aspectos de la colecta de muestras de suelo en el campo.

3.5 Análisis de muestras de suelo en el laboratorio

Las muestras de suelo fueron pesadas individualmente en fresco, posteriormente fueron secadas durante 48 horas a 70-80° C, para ser pesadas en seco y poder calcular la densidad aparente del suelo (peso seco en gramos/volumen en cm³). Las 3 muestras de suelo de la misma profundidad pertenecientes al mismo círculo dentro del sitio se mezclaron posteriormente para obtener una muestra compuesta.

La muestra compuesta fue tamizada por medio de una malla de 2 mm para eliminar las arenas gruesas. Posteriormente, el suelo tamizado fue molido en un mortero de ágata. Los análisis de la concentración de carbono fueron realizados en un analizador automatizado de C (TOC) marca UIC (Mod. CM 5012; Figura 14).



Figura 14. Procedimientos de manejo de los suelos colectados para el análisis de carbono.

Se analizaron en el TOC 1,783 muestras de suelo, correspondientes al 88% de las muestras totales esperadas. Se procesaron muestras provenientes de 72 sitios a las 3 profundidades antes referidas (Cuadro 9). Las muestras de 11 sitios no fueron procesadas, ya sea por no haber llegado al laboratorio o por haberse tomado en campo de forma incorrecta.

Subregión	Clase de cobertura vegetal y uso del suelo										Total
	AGR	BE	BP	BPE	BVS	FRU	MAT	OY	PAS	REF	
Meseta	3	0	2	2	0	0	1	0	0	0	8
Pátzcuaro	1	1	2	3	0	0	3	0	1	1	12
ncítaro	3	3	4	4	1	6	3	3	1	4	32
Uruapan	2	4	5	4	1	1	2	0	0	1	20
Total	9	8	13	13	2	7	9	3	2	6	72

Cuadro 9. Número de sitios de muestreo donde se analizaron sus muestras en laboratorio, por subregión y clase de cobertura vegetal y uso de suelo.

3.6 Procesamiento de datos

Los resultados obtenidos y el procesamiento de los datos fueron hechos en la hoja de cálculo Microsoft® Excel 2002.

La densidad aparente de las muestras se obtuvo dividiendo el peso seco en gramos con el volumen muestreado (en cm^3). El volumen de las muestras obtenidas con el nucleador para cada una de las 3 profundidades se muestra en el Cuadro 10.

Profundidad	Cilindros	Volumen total (cm^3)
0-5 cm	1	90.5
5-15 cm	2	180.9
15-30 cm	3	271.4
Total (0-30 cm)	6	542.9

Cuadro 10. Volúmenes de las muestras colectadas a diferentes profundidades.

Los valores de densidad aparente que no estuvieron comprendidos entre 0.8 y 1.5 g/cm^3 no fueron considerados como datos correctos y por lo tanto fueron eliminados.

En 11 valores de clases de CV-US y subregión de la primera y tercera profundidad con valores de densidad por fuera del intervalo propuesto donde se contaba con datos de concentración de carbono de muestras analizadas en el carboxímetro, se adoptaron valores de densidad aparente conforme a los siguientes criterios: en 9 casos se tomó el valor de densidad aparente más bajo para la misma subregión y en los 2 restantes se empleó el valor de densidad aparente de la misma clase de CV-US y subregión de la profundidad intermedia.

De los datos de densidad aparente considerados correctos se tomó el valor máximo para cada sitio y se promedió con los valores máximos correspondientes a la misma clase de CV-US y subregión.

El producto del valor promedio de la densidad aparente por la altura de la muestra en centímetros (5, 10 y 15 cm. para la 1^{era}, 2^{da} y 3^{era} profundidades respectivamente) permitió calcular la cantidad de suelo por unidad de área (en kg/m^2) para cada una de las clases de CV-US y para cada subregión.

Por otro lado, se promediaron los porcentajes de carbono orgánico total de las muestras compuestas obtenidos en el TOC para cada clase de CV-US y subregión y los valores se colocaron en las matrices de datos correspondientes.

Una vez obtenidos los valores de cantidad de suelo por unidad de área (kg/m^2) y porcentaje de carbono orgánico total se pudo hacer el cálculo final de carbono por unidad de área (en $\text{Mg C}/\text{ha}$) para cada una de las profundidades y la suma de las tres profundidades corresponde al contenido de C de los primeros 30 cm del suelo.

Con los resultados se elaboraron mapas de concentración y contenidos de carbono en suelos para cada una de las profundidades.

Finalmente, al multiplicar los valores de contenido de carbono por la superficie de cada una de las clases de CV-US y sumar los resultados fue posible obtener el contenido total de carbono a nivel subregional y regional, el cálculo se realizó para 2 profundidades (0-5 cm y 0-30 cm).

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de fragmentación por clase de cobertura vegetal y uso del suelo en el área de estudio.

Los resultados del análisis de fragmentación se presentan a continuación por cada una de las subregiones estudiadas y a escala de la Región Purépecha.

4.1.1 SUBREGIÓN MESETA.

En el cuadro 11 se presentan el número de fragmentos y la superficie promedio para cada clase de CV-US de la subregión Meseta (MES). En esta subregión, el Bosque con Vegetación Secundaria (BVS) fue la clase con mayor número de fragmentos (614) en tanto que la Reforestación (REF) fue la de menor número de fragmentos (6). Con respecto a la superficie promedio por fragmento, el bosque de pino (BP) presenta los fragmentos más extensos (165 ha) y la Reforestación (REF) incluye los fragmentos de menor tamaño (36 ha).

Subregión MES			
Clase de CV-US	Superficie total (ha)	Núm. de Fragmentos	Superficie promedio por fragmento (ha)
Agricultura	60,173.82	433	138.96 (6.67)
Bosque Encino	1,189.17	30	39.64 (7.24)
Bosque Pino	39,078.81	236	165.59 (10.78)
Bosque Pino-encino	18,108.99	266	68.08 (4.17)
Bosque con vegetación secundaria	58,230.09	614	94.84 (3.83)
Frutales	3,286.26	74	44.41 (5.16)
Matorral	7,039.44	115	61.21 (5.71)
Bosque Oyamel	2,632.05	32	82.25 (14.54)
Pastizal	10,499.85	170	61.76 (4.74)
Reforestación	216.99	6	36.17 (14.76)
Otros	7,106.85	737	9.64 (0.35)
Total	207,562.32	2,713	76.51 (1.47)

Cuadro 11. Número de fragmentos y superficie promedio de los fragmentos para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo para la Subregión Meseta.

En la figura 15 se observa que la mayoría de las clases de CV-US tienen pocos fragmentos con superficie reducida, mientras que el BVS es el que tiene mayor número de fragmentos y superficie promedio cercana a las 100 ha. Así mismo, el BP y AGR son los que tienen los fragmentos con mayor superficie, por lo cual se pueden considerar como los menos fragmentados.

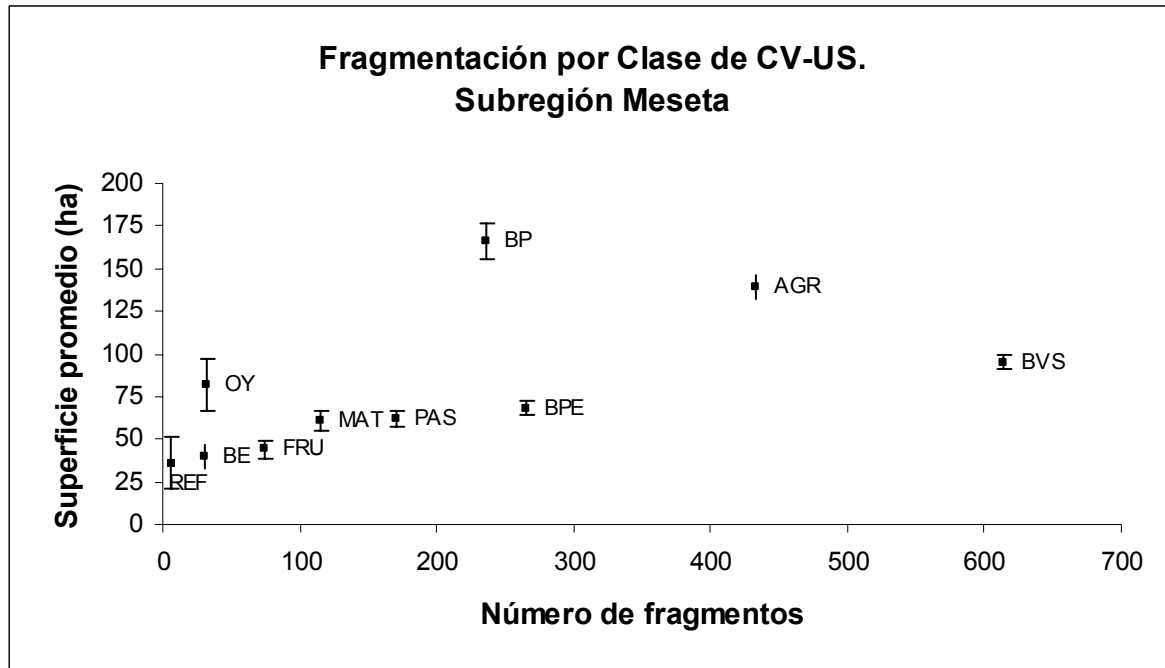


Figura 15. Distribución de la fragmentación por clase de cobertura vegetal y uso del suelo para la Subregión Meseta.

4.1.2 SUBREGIÓN PÁTZCUARO.

En la subregión Pátzcuaro también el BVS fue la clase de CV-US con más fragmentos (575) y REF con menos fragmentos (15; Cuadro 12). En contraste, la Agricultura (AGR) fue la que tuvo la superficie promedio mayor (160 ha) y el Pastizal (PAS) con el valor menor (27 ha).

Subregión PAT			
Clase de CV-US	Superficie total (ha)	Núm. de Fragmentos	Superficie promedio por fragmento (ha)
Agricultura	55,475.55	347	159.87 (8.58)
Bosque Encino	5,635.17	54	104.36 (14.20)
Bosque Pino	4,537.80	152	29.85 (2.42)
Bosque Pino-encino	31,554.09	218	144.74 (9.8)
Bosque con vegetación secundaria	34,642.35	575	60.25 (2.51)
Frutales	2,074.41	52	39.89 (5.53)
Matorral	2,338.47	56	41.76 (5.58)
Bosque Oyamel	1,489.14	28	53.18 (10.05)
Pastizal	2,793.96	104	26.87 (2.63)
Reforestación	551.97	15	36.80 (9.5)
Otros	13,813.65	210	65.78 (4.54)
Total	154,906.56	1,811	85.54 (2.01)

Cuadro 12. Número de fragmentos y superficie promedio de los fragmentos para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo para la Subregión Pátzcuaro.

La gráfica resultante en este análisis muestra que al igual que la Subregión Meseta, el BVS es la Clase de CV-US con mayor número de fragmentos y con una superficie menor a las clases forestales (Figura 16). Así mismo, AGR, BPE y el BE son los que tienen los fragmentos más extensos, por lo cual son los que van a dominar el paisaje de esta subregión. Por último, las clases CV-US restante son de pocos fragmentos con superficies reducidas.

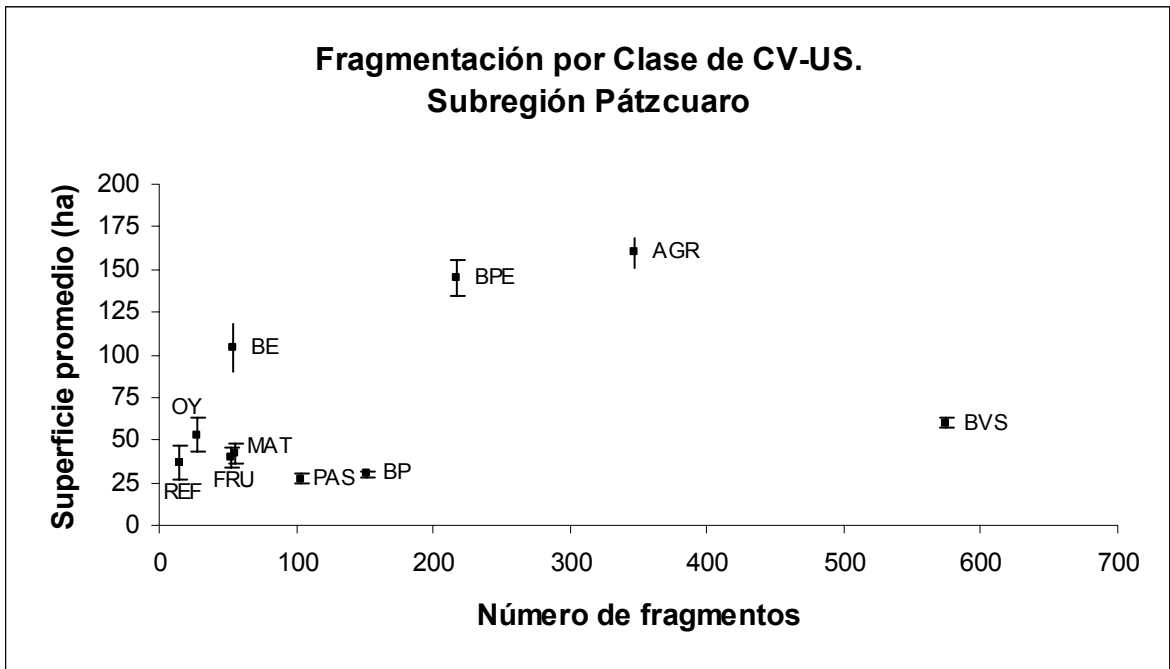


Figura 16. Distribución de la fragmentación por clase de cobertura vegetal y uso del suelo para la Subregión Pátzcuaro.

4.1.3 SUBREGIÓN TANCÍTARO.

En esta subregión, el BP resultó la clase de CV-US con más fragmentos (285), apenas 3 fragmentos más que el BVS (Cuadro 13). En contraste, REF fue la clase con menor número de fragmentos y con menor superficie promedio (3 y 7.5 ha, respectivamente). En relación a su tamaño promedio, los fragmentos del Bosque de Oyamel (OY) registraron los valores más altos (326 ha), inclusive en toda la Región.

Subregión TAN			
Clase de CV-US	Superficie total (ha)	Núm. de Fragmentos	Superficie promedio por fragmento (ha)
Agricultura	4,458.06	119	37.46 (3.43)
Bosque Encino	618.03	13	47.54 (13.19)
Bosque Pino	16,529.94	285	58 (3.44)
Bosque Pino-encino	15,128.19	110	137.53 (13.11)
Bosque con vegetación secundaria	27,717.84	282	98.29 (5.85)
Frutales	32,482.08	150	216.55 (17.68)
Matorral	213.21	13	16.40 (4.55)
Bosque Oyamel	3,265.11	10	326.51 (103.25)
Pastizal	1,114.11	62	17.97 (2.28)
Reforestación	22.59	3	7.53 (4.35)
Otros	2,072.07	313	6.62 (0.37)
Total	103,621.23	1,360	76.19 (2.06)

Cuadro 13. Número de fragmentos y superficie promedio de los fragmentos para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo para la Subregión Tancítaro.

En contraste a las otras subregiones, el OY es el que tiene los fragmentos con una gran superficie, seguidos por los FRU y el BPE. En cambio, la AGR presentó fragmentos de superficie reducida, parecido a REF, PAS y MAT. De nuevo, el BVS tiene el mayor número de fragmentos con superficie cercanas a la 100 ha.

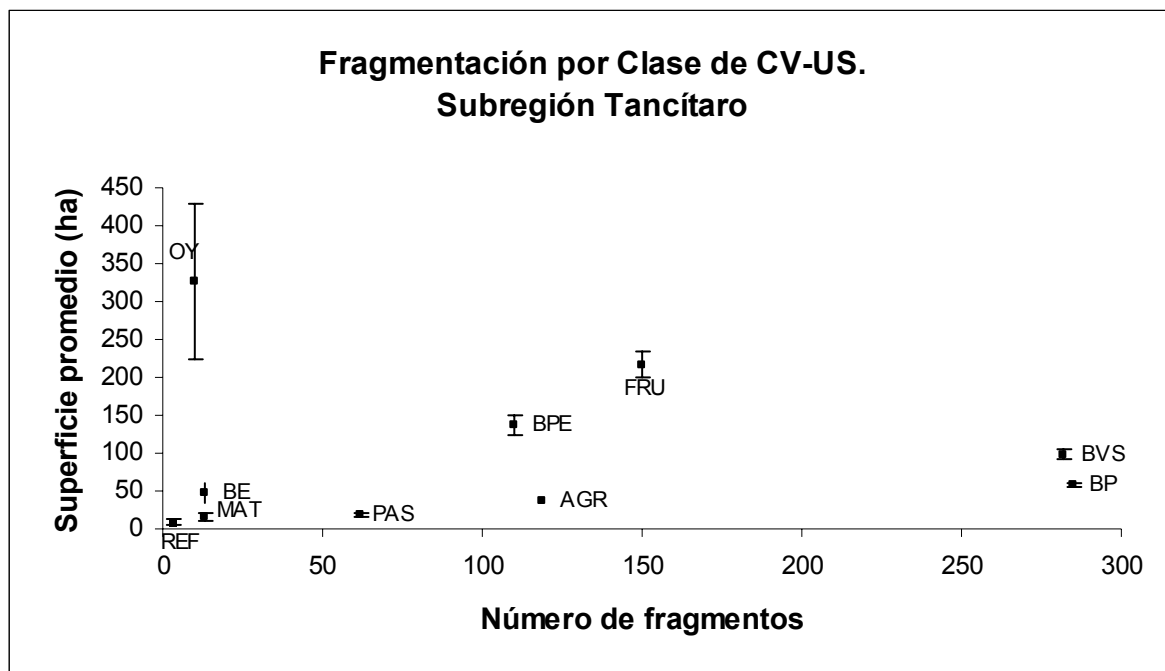


Figura 17. Distribución de la fragmentación por clase de cobertura vegetal y uso del suelo para la Subregión Tancítaro.

4.1.4 SUBREGIÓN URUAPAN.

En la subregión de Uruapan al igual que en MES y PAT, los BVS representaron la clase de CV-US con mayor número de fragmentos (357; Cuadro 14). En cambio, los PAS y REF fueron lo que tuvieron menor número de fragmentos. Considerando la superficie promedio de sus fragmentos, el que presenta los valores más altos son los FRU (138 ha) y el menor fue REF (4 ha).

Subregión URU			
Clase de CV-US	Superficie total (ha)	Núm. de Fragmentos	Superficie promedio por fragmento (ha)
Agricultura	12,375.09	122	101.44 (9.18)
Bosque Encino	2,165.40	33	65.62 (11.42)
Bosque Pino	22,262.85	305	72.99 (4.18)
Bosque Pino-encino	22,577.67	218	103.57 (7.01)
Bosque con vegetación secundaria	31,005.72	357	86.85 (4.60)
Frutales	13,430.25	97	138.46 (14.06)
Matorral	471.51	9	52.39 (17.46)
Bosque Oyamel	23.76	2	11.88 (8.40)
Pastizal	43.38	3	14.46 (8.35)
Reforestación	8.9	2	4.45 (3.15)
Otros	6,524.37	233	28 (1.83)
Total	110,888,90	1,381	80.28 (2.16)

Cuadro 14. Número de fragmentos y superficie promedio de los fragmentos para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo para la Subregión Uruapan.

En esta región, los FRU, AGR y BPE son las clases de CV-US con fragmentos de mayor superficie, mientras que los que tienen menos fragmentos y de poca superficie son OY, REF y PAS (Fig. 18). El BVS se comporta parecido a las otras subregiones: un gran número de fragmentos con superficies entre 75 y 100 ha.

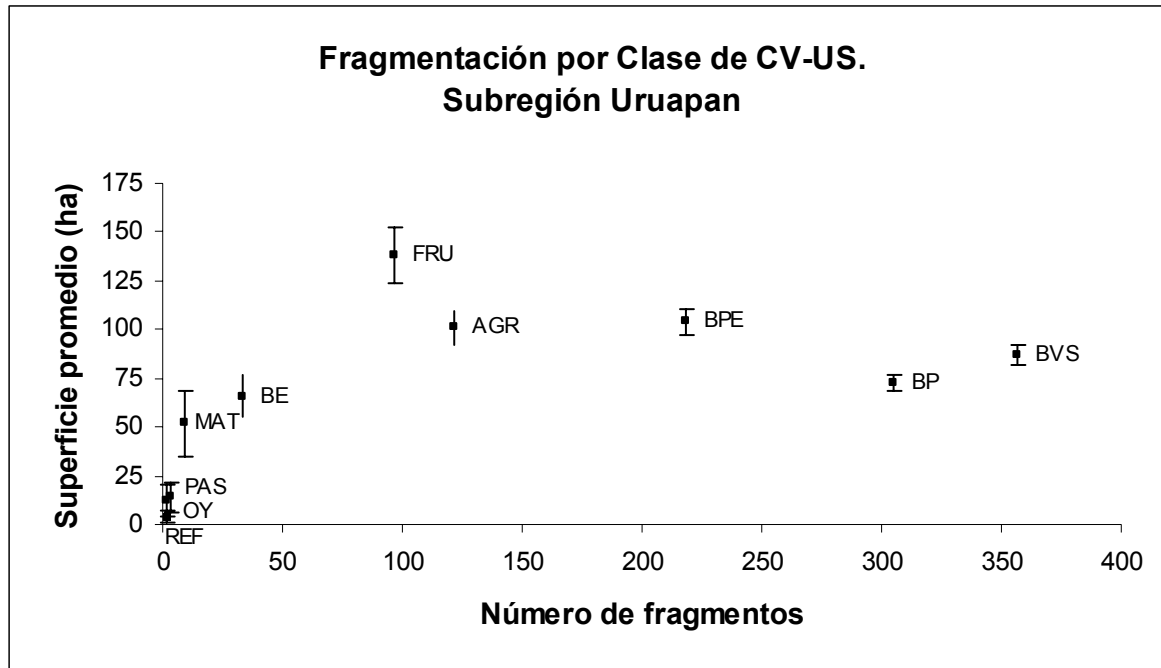


Figura 18. Distribución de la fragmentación por clase de cobertura vegetal y uso del suelo para la Subregión Uruapan.

4.1.5 REGIÓN PURÉPECHA.

A nivel regional, los BVS fueron la clase de CV-US con más fragmentos (1,828), seguidos por la AGR (1,021) y el BP (978; Cuadro 15). En contraste, REF fue el que tuvo el menor número de fragmentos y de menor superficie promedio (26 y 31 ha, respectivamente). Considerando las superficies promedio por fragmento, las clase de CV-US con mayor extensión fueron FRU (137.5 ha), AGR (134 ha) y BPE (107.6 ha).

Clase de CV-US	Superficie total (ha)	Núm. de Fragmentos	Superficie promedio por fragmento (ha)
Agricultura	132,482.52	1,021	129.76 (4.06)
Bosque Encino	9,607.77	130	73.91 (6.48)
Bosque Pino	82,409.40	978	84.26 (2.69)
Bosque Pino-encino	87,368.94	812	107.60 (3.78)
Bosque con vegetación secundaria	151,596.00	1,828	82.93 (1.94)
Frutales	51,273.00	373	137.46 (7.12)
Matorral	10,062.63	193	52.14 (3.75)
Bosque Oyamel	7,410.06	72	102.92 (12.13)
Pastizal	14,451.30	339	42.63 (2.32)
Reforestación	800.45	26	30.79 (6.04)
Otros	29,516.94	1,493	19.77 (0.51)
Total	576,979.01	7,265	79.42 (0.93)

Cuadro 15. Número de fragmentos y superficie promedio de los fragmentos para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel regional.

Las clases de CV-US que tienen mayor superficie por fragmento fueron FRU, AGR, BPE; mientras que el REF presenta pocos fragmentos de superficie reducida (Fig. 19). El BVS es el que presenta mayor número de fragmentos, con superficie entre 75 y 100 ha. Este resultado es muy parecido a lo que se ha encontrado en todas las subregiones.

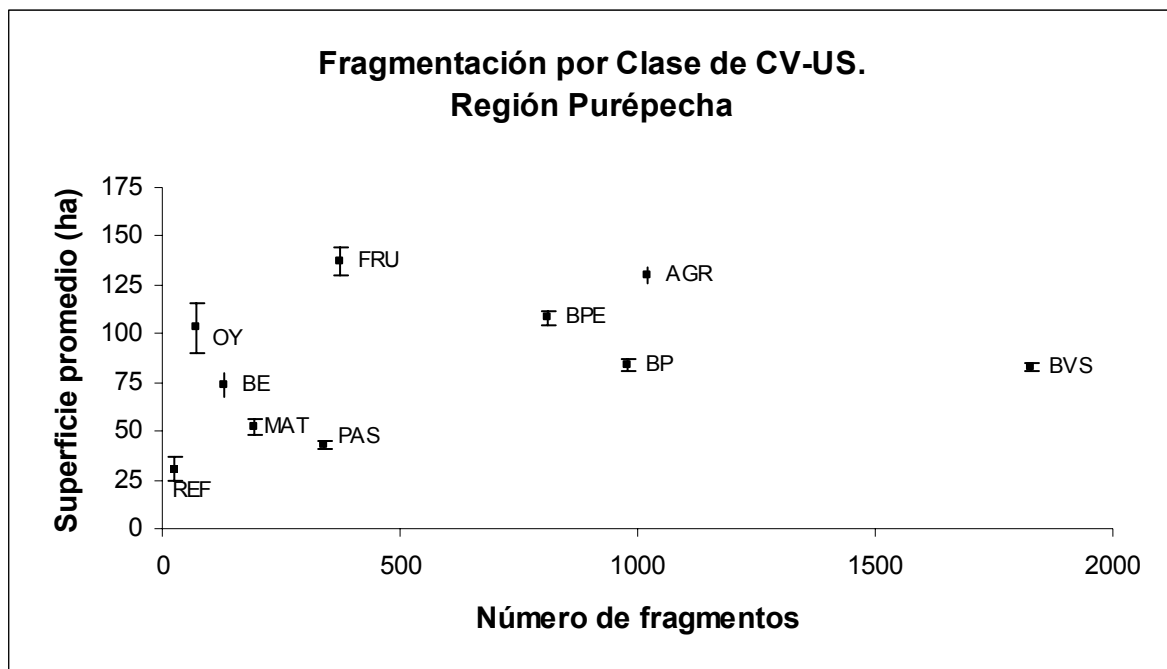


Figura 19. Distribución de la fragmentación por clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel regional

4.2 Concentración de carbono orgánico total por clase de cobertura vegetal y uso del suelo por profundidad a nivel subregional.

Los resultados de la concentración de carbono orgánico total por clase de CV-US a nivel subregional se presentan con una breve descripción para cada profundidad (0-5 cm, 5-15 cm y 15-30 cm) y los mapas elaborados a partir de ellos.

4.2.1 PRIMERA PROFUNDIDAD (0-5 CM)

En la primera profundidad destaca el BPE en Pátzcuaro como la clase de CV-US con mayor concentración de carbono (10.1%); en promedio la subregión de Pátzcuaro presenta la mayor concentración de carbono (6.1%) y a nivel de subclases, el bosque de encino (BE) con 7.1% en promedio representa la clase de CV-US con más alta concentración de carbono.

Profundidad 0-5 cm											
Concentración promedio de carbono orgánico total en suelo para cada clase expresado en % con su error estándar entre paréntesis											
Clase de cobertura vegetal y uso del suelo											
Subregión	AGR	BE	BP	BPE	BVS	FRU	MAT	OY	PAS	REF	Prom.
MES	3.2 (0.5)		8.4 (1.3)	4.6 (0.8)			7.6 (1.4)				5.9 (1.2)
PAT	4.6 (0.1)	9.1 (0.5)	6.2 (1.3)	10.1 (1.3)			4.9 (0.5)		3.8 (0.6)	4.3 (0.2)	6.1 (0.9)
TAN	3.3 (0.6)	3.4 (0.3)	2.7 (0.3)	5.3 (0.6)	3.9 (0.1)	3.5 (0.3)	3.0 (0.6)	3.5 (0.5)	4.5 (0.5)	3.8 (0.8)	3.7 (0.2)
URU	2.0 (0.2)	8.9 (1.5)	4.7 (0.6)	4.5 (0.6)	4.1 (0.4)	5.2 (0.3)	1.6 (0.2)			1.2 (0.1)	4.0 (0.9)
Promedio	3.2 (0.5)	7.1 (1.8)	5.5 (1.2)	6.1 (1.3)	4.0 (0.1)	4.3 (0.8)	4.2 (1.3)	3.5	4.2 (0.3)	3.1 (0.9)	4.5 (0.4)

Cuadro 16. Concentración de carbono orgánico en suelo de 0-5 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

Por otra parte, la Reforestación en Uruapan con 1.2% es la clase de CV-US con menor concentración, en promedio esta clase es la de menor concentración respecto a las otras (3.1%) y a nivel subregional, Tancítaro presenta el promedio más bajo de concentración (3.7%).

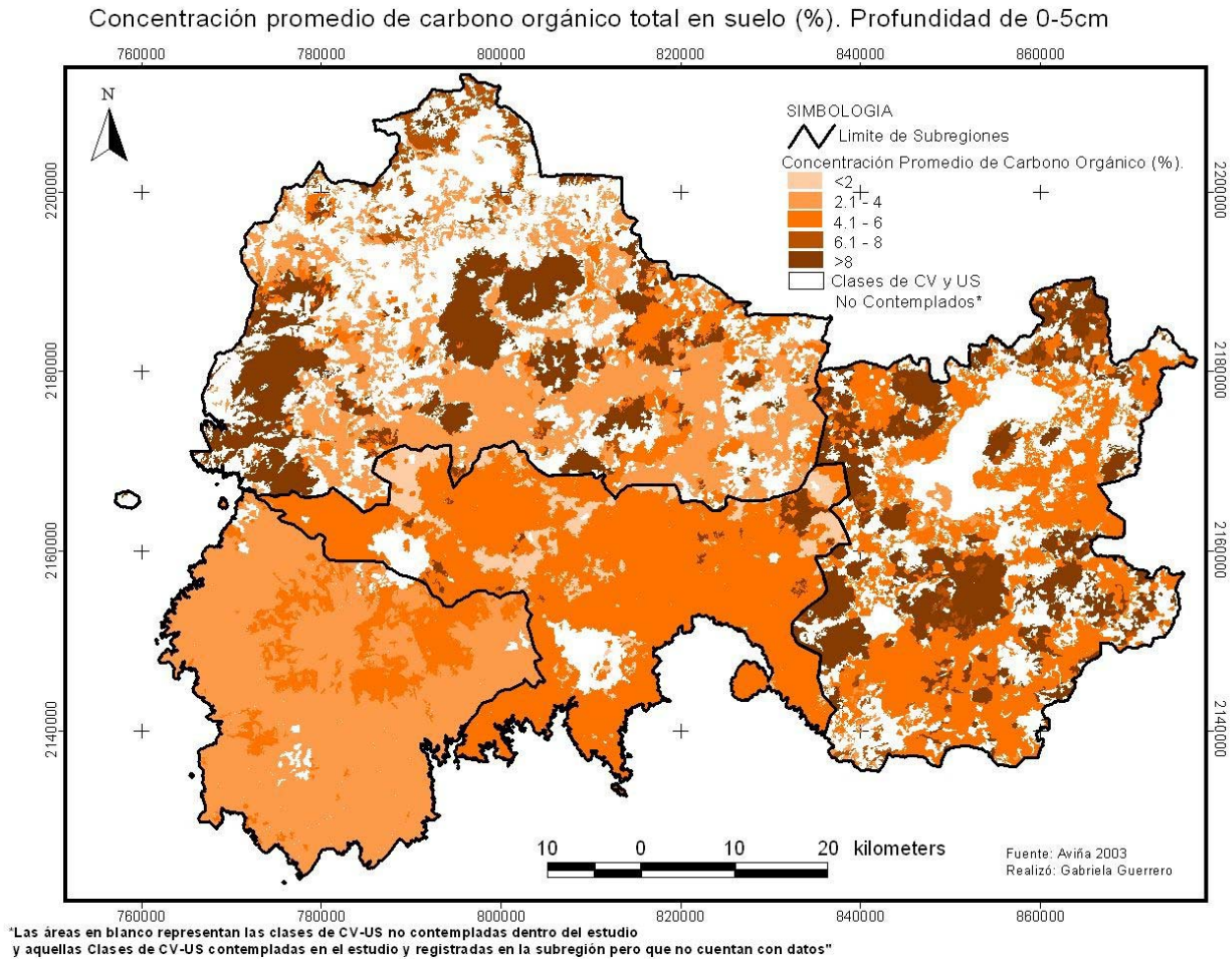


Figura 20. Mapa de concentración promedio de carbono orgánico total en suelo de 0-5 cm para cada subregión

En el mapa de concentración de carbono orgánico total de los primeros 5 cm del suelo (Figura 20) se observan los siguientes resultados para cada una de las subregiones:

En la subregión Meseta (MES) se identifican además de las áreas donde no se registraron datos (40%), una extensión mayor a 60 mil hectáreas (29%) que corresponde a concentraciones de carbono entre 2.1-4.0%; le sigue un área de casi 40 mil hectáreas (19%) que representan concentraciones mayores al 8%; con extensiones menores al 10% de la superficie total se ubican los intervalos de concentración de carbono de 4.1-6.0% (8.7%) y 6.1-8.0% (3.3%).

En la subregión Pátzcuaro (PAT) además de las superficies que no cuentan con datos (33.5%), destacan los intervalos de concentración de 4.1-6.0% con una extensión de 58,372 hectáreas que representan el 38% del área total y el intervalo de concentración superior al 8% con un 24% de la superficie total, equivalente a 37,192 hectáreas; con áreas que representan menos del 5% del total se encuentran los intervalos de concentración de 6.1-8% (3%) y 2.1-4% (2%).

La subregión Tancítaro (TAN) presenta homogeneidad en las concentraciones de carbono a esta profundidad, ya que más de 85 mil hectáreas, equivalentes al 82% se encuentran dentro del intervalo de concentración de 2.1-4.0%; casi un 16% (ca. 16,500 ha) está representado por el intervalo de concentración de 4.1-6.0%, el resto (1.9%) corresponde a superficies de clases de cobertura vegetal y uso del suelo no contempladas en el estudio.

En la subregión Uruapan (URU) el intervalo de concentración de carbono de 4.1-6.0% ocupa casi 90 mil hectáreas que equivalen al 80% de la superficie total. Le sigue con un 11.5% (ca. 13 mil ha) el intervalo de concentración de carbono menor al 2%; por último con 1.9% y 5.9% de la superficie total se encuentran los intervalos de concentración mayores al 8% y áreas donde no se cuenta con datos, respectivamente.

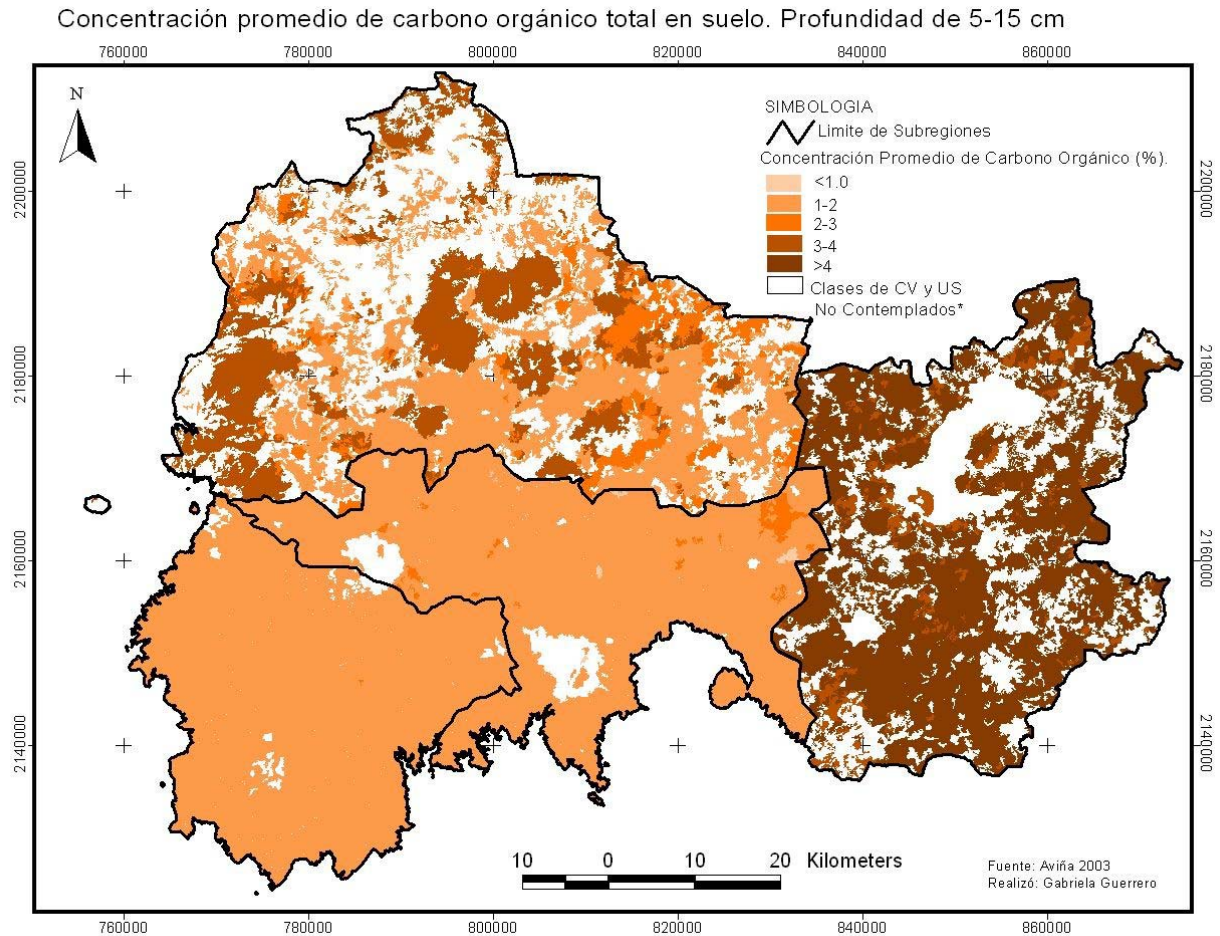
4.2.2 SEGUNDA PROFUNDIDAD (5-15 CM)

En la profundidad intermedia, 5-15 cm, son las mismas clases de CV-US que en la primera profundidad, las que presentan la mayor concentración de carbono; así el Bosque de Pino-Encino en Pátzcuaro es la clase con más alta concentración de carbono (5.2%), esa misma subregión (PAT) tiene el promedio más alto de concentración (4.1%) y en general el BE es la clase de CV-US con mayor concentración promedio (2.9%).

Profundidad 5-15 cm											
Concentración promedio de carbono orgánico total en suelo para cada clase expresado en % con su error estándar entre paréntesis											
	Clase de cobertura vegetal y uso del suelo										
Subregión	AGR	BE	BP	BPE	BVS	FRU	MAT	OY	PAS	REF	Prom.
MES	2.0 (0.3)		3.5 (0.6)	2.7 (0.3)			3.1 (0.2)				2.8 (0.3)
PAT	4.7 (0.2)	4.2 (0.3)	3.3 (0.2)	5.2 (0.4)			3.3 (0.6)		3.4 (0.3)	4.3 (0.2)	4.1 (0.3)
TAN	2.0 (0.2)	1.5 (0.2)	1.5 (0.4)	1.5 (0.2)	1.2 (0.1)	1.9 (0.1)	1.9 (0.3)	1.7 (0.5)	1.6 (0.2)	2.4 (0.6)	1.7 (0.1)
URU	1.4 (0.3)	2.9 (0.5)	1.7 (0.3)	2.0 (0.4)	1.2 (0.3)	1.5 (0.1)	0.8 (0.1)			0.3 (0.1)	1.5 (0.3)
Promedio	2.6 (0.8)	2.9 (0.8)	2.5 (0.5)	2.8 (0.8)	1.2 (0.0)	1.7 (0.2)	2.3 (0.6)	1.7	2.5 (0.9)	2.3 (1.1)	2.2 (0.2)

Cuadro 17. Concentración de carbono orgánico en suelo de 5-15 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

Así mismo, la Reforestación en Uruapan tiene el valor más bajo de concentración en esta profundidad también (0.3%), en promedio esta subregión (URU) muestra además la concentración más baja (1.5%); a nivel de Clases de CV-US los bosques de vegetación secundaria presentan los valores inferiores de concentración (1.2%).



*Las áreas en blanco representan las clases de CV-US no contempladas dentro del estudio y aquellas Clases de CV-US contempladas en el estudio y registradas en la subregión pero que no cuentan con datos"

Figura 21. Mapa de concentración promedio de carbono orgánico total en suelo de 5-15 cm para cada subregión

En el mapa de concentración de carbono orgánico total de la segunda profundidad (5-15 cm) se presentan a nivel subregional los siguientes resultados:

En la subregión Meseta (MES) donde más de 83 mil hectáreas (40%) no cuentan con datos; una superficie casi similar (ca. 80,000 ha) que representa el 37.7% del área total está ubicada entre el 2-3% de concentración de carbono, un 22.2% de la subregión (46 mil ha) está ubicada entre el 3-4% de concentración de carbono.

La subregión Pátzcuaro (PAT) con 33.5% de su superficie sin datos, presenta un área de 93 mil ha. (60.1%) con concentraciones de carbono superiores al 4.0%, cerca de 10 mil ha. (6.2%) muestran valores de concentración de carbono entre el 3-4%.

En la subregión de Tancítaro (TAN), al igual que en la primera profundidad, se mantiene la homogeneidad en las concentraciones de carbono; el 93.7% de la superficie total (ca. 100 mil ha) muestra concentraciones entre el 1-2% de carbono, 4.3% del área total se ubica entre el 2-3% y el resto (1.9%) representa las áreas no contempladas en el estudio.

Para la subregión Uruapan (URU), cerca de 80 mil hectáreas (71.3%) presentan niveles de concentración de carbono entre 1-2%, sigue en importancia el intervalo de concentración de 2 a 3% de carbono con una extensión cercana a las 25 mil ha (22.3%); una porción muy pequeña (< 500 ha) presenta concentraciones de carbono inferiores al 1% y el resto de la superficie (5.9%) corresponde a áreas no contempladas en el estudio.

4.2.3 TERCERA PROFUNDIDAD (15-30 CM)

En la última profundidad (15-30 cm), a diferencia de las anteriores, fue la Agricultura en Pátzcuaro, la clase de CV-US con mayor concentración de carbono (4.5%); en promedio, esta clase de CV-US (AGR) tuvo la mayor concentración de carbono (3.3%). La subregión que mostró las mayores concentraciones de carbono en promedio fue la Meseta con 3.6%.

Profundidad 15-30 cm											
Concentración promedio de carbono orgánico total en suelo para cada clase expresado en % con su error estándar entre paréntesis											
Clase de cobertura vegetal y uso del suelo											
Subregión	AGR	BE	BP	BPE	BVS	FRU	MAT	OY	PAS	REF	Promedio
MES	2.8 (0.7)		3.8 (0.4)	3.5 (0.5)			4.2 (0.1)				3.6 (0.3)
PAT	4.5 (0.1)	2.7 (0.3)	2.7 (0.3)	4.2 (0.4)			3.5 (0.4)		3.0 (0.4)	3.7 (0.2)	3.5 (0.1)
TAN	3.3 (0.5)	3.4 (0.6)	3.2 (0.4)	2.2 (0.3)	1.9 (0.2)	2.7 (0.2)	2.8 (0.4)	2.9 (0.5)	2.8 (0.4)	2.9 (0.5)	2.8 (0.1)
URU	2.4 (0.5)	3.6 (0.7)	2.8 (0.2)	2.6 (0.3)	1.7 (0.3)	3.0 (0.1)	1.1 (0.1)			0.8 (0.2)	2.3 (0.3)
Promedio	3.3 (0.4)	3.2 (0.2)	3.1 (0.2)	3.1 (0.4)	1.8 (0.1)	2.8 (0.2)	2.9 (0.7)	2.9	2.9 (0.1)	2.5 (0.9)	2.9 (0.1)

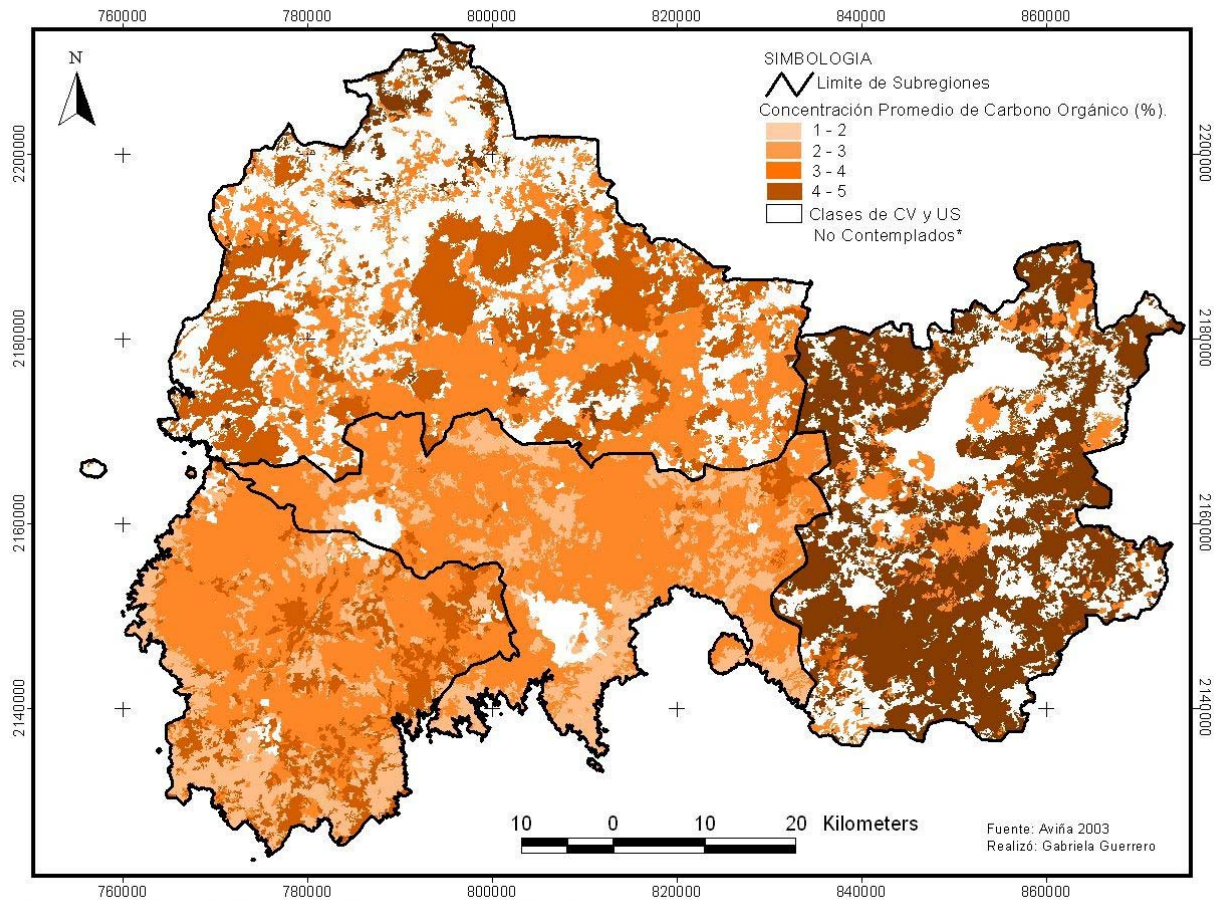
Cuadro 18. Concentración de carbono orgánico en suelo de 15-30 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

Una vez más la Reforestación en Uruapan presentó el valor inferior de concentración (0.8%), en promedio tanto esta clase de CV-US (REF) como la subregión (URU), muestran los valores más bajos de concentración con 2.5% y 2.3%, respectivamente.

En el mapa de concentración de carbono orgánico total para la última profundidad (15-30 cm) destacan los siguientes aspectos en cada una de las subregiones:

Para la subregión Meseta (MES) que tiene una extensión de 83 mil hectáreas sin registro de datos (40%); el 29% de la superficie total (>60 mil ha) se ubica en el intervalo de concentración de 2-3%, una extensión casi similar (ca. 60 mil ha) que representa el 27.5% de la superficie total registra niveles de concentración de carbono entre el 3-4%, por último, 3.4% del área total (ca. 7 mil ha) muestra niveles de concentración superiores al 4%.

Concentración promedio de carbono orgánico total en suelo. Profundidad de 15-30 cm



*Las áreas en blanco representan las clases de CV-US no contempladas dentro del estudio y aquellas Clases de CV-US contempladas en el estudio y registradas en la subregión pero que no cuentan con datos"

Figura 22. Mapa de concentración promedio de carbono orgánico total en suelo de 15-30 cm para cada subregión

En la subregión Pátzcuaro (PAT) donde más de 50 mil hectáreas corresponden a superficies sin registro de datos (33.5%); casi 90 mil hectáreas (56.1%) muestran valores de concentración de carbono superiores al 4%, poco más de 12,500 ha. se ubican en el intervalo de concentración de 2-3% y las restantes 2,892 ha. (1.8%) están comprendidas en el intervalo de 3-4% de concentración de carbono.

En la subregión de Tancítaro (TAN), más del 50% del área total presenta niveles de concentración entre el 2-3% (52,225 ha), el 26.8% de la superficie total (27,778 ha) se ubica en el intervalo de 1-2% de concentración de carbono y el 20.8% de la subregión registra concentraciones de carbono entre el 3 y 4%. Las 2 mil ha restantes (1.9%) corresponden a áreas no contempladas en el estudio.

En la subregión Uruapan (URU), poco más de 57 mil hectáreas (51.6%) están ubicadas en el intervalo de concentración de carbono entre 2 y 3%, el 28.4% de la superficie total (31,514 ha) presenta concentraciones de carbono entre 1-2% y 14.1% del área total (ca. 15,600 ha) registra niveles de concentración de carbono entre el 3-4%. El resto (5.9%) son las áreas no contempladas en el estudio.

4.3. Contenido de carbono orgánico total por clase de cobertura vegetal y uso del suelo por profundidad a nivel subregional.

Los resultados del contenido de carbono orgánico total por clase de CV-US a nivel subregional se presentan para cada profundidad (0-5 cm, 5-15 cm y 15-30 cm), así como el contenido total de carbono orgánico acumulado de 0-30 cm.

4.3.1 PRIMERA PROFUNDIDAD (0-5 CM)

En los primeros 5 cm de suelo, el bosque de encino en Uruapan destacó como el de mayor contenido de carbono orgánico (61.5 Mg C/ha), a nivel general esta clase de cobertura vegetal (BE) fue la que presentó contenidos superiores de carbono con un promedio de 39.9 Mg C/ha; a nivel subregional la Meseta tiene en promedio mayor cantidad de carbono por unidad de área (27.1 Mg C/ha).

Profundidad 0-5 cm											
Contenido de carbono orgánico total en el suelo para cada clase expresado en Mg C/ha con su error estándar entre paréntesis											
Clase de cobertura vegetal y uso del suelo											
Subregión	AGR	BE	BP	BPE	BVS	FRU	MAT	OY	PAS	REF	Promedio
MES	14.7 (2.2)		39.0 (6.0)	19.6 (3.5)			35.1 (6.5)				27.1 (5.9)
PAT	19.1 (0.3)	38.2 (2.3)	25.9 (5.3)	42.1 (5.4)			25.0 (2.8)		15.9 (2.5)	18.0 (1.0)	26.3 (3.8)
TAN	17.9 (3.3)	19.9 (2.0)	14.5 (1.5)	30.3 (3.5)	21.3 (0.7)	19.2 (1.6)	18.5 (3.8)	20.0 (3.1)	24.9 (2.7)	24.4 (5.1)	21.1 (1.4)
URU	9.5 (1.2)	61.5 (10.2)	28.5 (3.7)	27.5 (3.9)	24.1 (2.5)	21.6 (1.3)	9.2 (1.2)			6.2 (0.6)	23.5 (6.2)
Promedio	15.3 (2.1)	39.9 (12.0)	27.0 (5.0)	29.9 (4.7)	22.7 (1.4)	20.4 (1.2)	21.9 (5.4)	20.0	20.4 (4.5)	16.2 (6.2)	23.4 (2.3)

Cuadro 19. Contenido de carbono orgánico en suelo de 0-5 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

Al igual que en la concentración a esta profundidad, la Reforestación de Uruapan fue la que presentó el contenido de carbono más bajo de la región (6.2 Mg C/ha); de las diversas clases de CV-US, el uso agrícola mostró los niveles inferiores promedio en contenido de carbono con 15.3 Mg C/ha; a nivel subregional Tancítaro cuenta con los menores contenidos de carbono en promedio (21.1 Mg C/ha).

A continuación se presenta el mapa de contenido de carbono orgánico para esta profundidad, así como una breve descripción (Figura 23).

Contenido de carbono orgánico total (Mg C/ha) Profundidad 0-5 cm

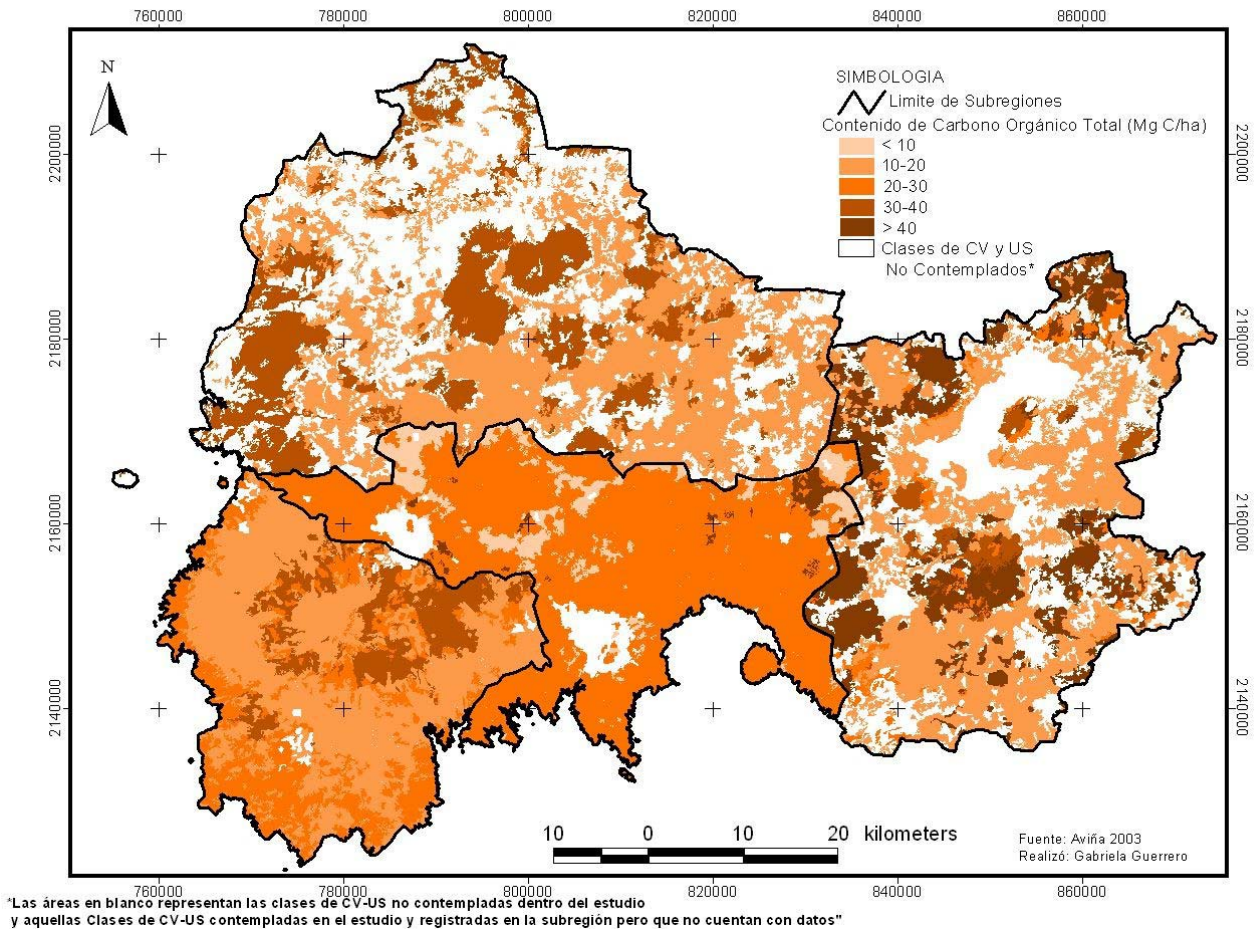


Figura 23. Mapa de contenido promedio de carbono orgánico total en suelo de 0-5 cm para cada subregión

En el mapa de contenido de carbono orgánico total de la primera profundidad (0-5 cm) las subregiones presentan los siguientes resultados:

En la subregión Meseta (MES), donde más de 83 mil hectáreas no cuentan con datos (40%) se identifican los intervalos de contenidos de carbono de 10-20 Mg C/ha con una extensión de 78 mil hectáreas (38%) y de 30-40 Mg C/ha con 46 mil hectáreas (22%).

En la subregión Pátzcuaro (PAT) descontando el 33% que corresponde a áreas sin registro de datos; destacan los intervalos de contenido de carbono de 10-20 Mg C/ha con un 38% equivalente a casi 60 mil hectáreas y el intervalo de contenido superior a 40 Mg C/ha que representa un 20% de la superficie total (31 mil ha); con áreas que no rebasan el 5% quedan los intervalos de 20-30 Mg C/ha (4.5%) y 30-40 Mg C/ha (3.5%).

La subregión Tancítaro (TAN) exhibe áreas para tres intervalos de contenido de carbono; con cerca de 60 mil hectáreas destaca el intervalo de 10-20 Mg C/ha, que representa el 55.5% de la superficie de la subregión; sigue con 28% del área total el

intervalo de 20-30 Mg C/ha y por último, con 14.6% de la superficie total aparece el intervalo de 30-40 Mg C/ha.

La subregión Uruapan (URU) muestra una distribución superior al 80% del área total del intervalo medio de contenido de carbono (20-30 Mg C/ha); en mucho menor proporción un 11% del área total representa al intervalo de contenido inferior a 10 Mg C/ha y tan solo un 2% se encuentra en el intervalo de contenido superior a 40 Mg C/ha y corresponde al BE.

4.3.2 SEGUNDA PROFUNDIDAD (5-15 CM)

En la segunda profundidad, 5-15 cm, el bosque de pino-encino en Pátzcuaro registró el mayor contenido de carbono (53.6 Mg C/ha), la subregión a la que pertenece esta clase de CV-US (PAT), tuvo en promedio los contenidos más altos de carbono con 39.1 Mg C/ha; el bosque de encino fue la clase de cobertura vegetal que mostró en promedio los mayores contenidos de carbono (32.2 Mg C/ha).

Profundidad 5-15 cm											
Contenido de carbono orgánico total en el suelo para cada clase expresado en Mg C/ha con su error estándar entre paréntesis											
Clase de cobertura vegetal y uso del suelo											
Subregión	AGR	BE	BP	BPE	BVS	FRU	MAT	OY	PAS	REF	Promedio
MES	20.1 (3.1)		34.7 (6.0)	22.8 (2.4)			31.2 (1.9)				27.2 (3.4)
PAT	47.0 (2.2)	36.1 (3.0)	35.5 (2.3)	53.6 (3.8)			33.8 (5.8)		30.8 (2.4)	37.0 (1.9)	39.1 (3.0)
TAN	22.7 (2.6)	22.0 (2.5)	16.2 (4.4)	18.2 (2.8)	15.0 (1.1)	22.8 (1.7)	25.2 (3.8)	23.4 (6.6)	16.4 (2.2)	29.8 (7.4)	21.2 (1.5)
URU	17.1 (3.8)	38.6 (6.8)	22.5 (3.8)	23.7 (4.1)	14.5 (3.1)	16.2 (0.9)	10.1 (0.7)			3.9 (1.7)	18.3 (3.7)
Promedio	26.7 (6.8)	32.2 (5.1)	27.2 (4.7)	29.6 (8.1)	14.8 (0.2)	19.5 (3.2)	25.1 (5.3)	23.4	23.6 (7.1)	23.6 (10.0)	24.6 (1.6)

Cuadro 20. Contenido de carbono orgánico en suelo de 5-15 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

La Reforestación en Uruapan presentó las concentraciones de carbono más bajas de todas las clases de CV-US (3.9 Mg C/ha), la subregión a la que esta clase pertenece (URU), mostró los valores inferiores promedio de contenido de carbono (18.3 Mg C/ha); de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo, el bosque con vegetación secundaria destacó con los menores contenidos promedio de carbono (14.8 Mg C/ha).

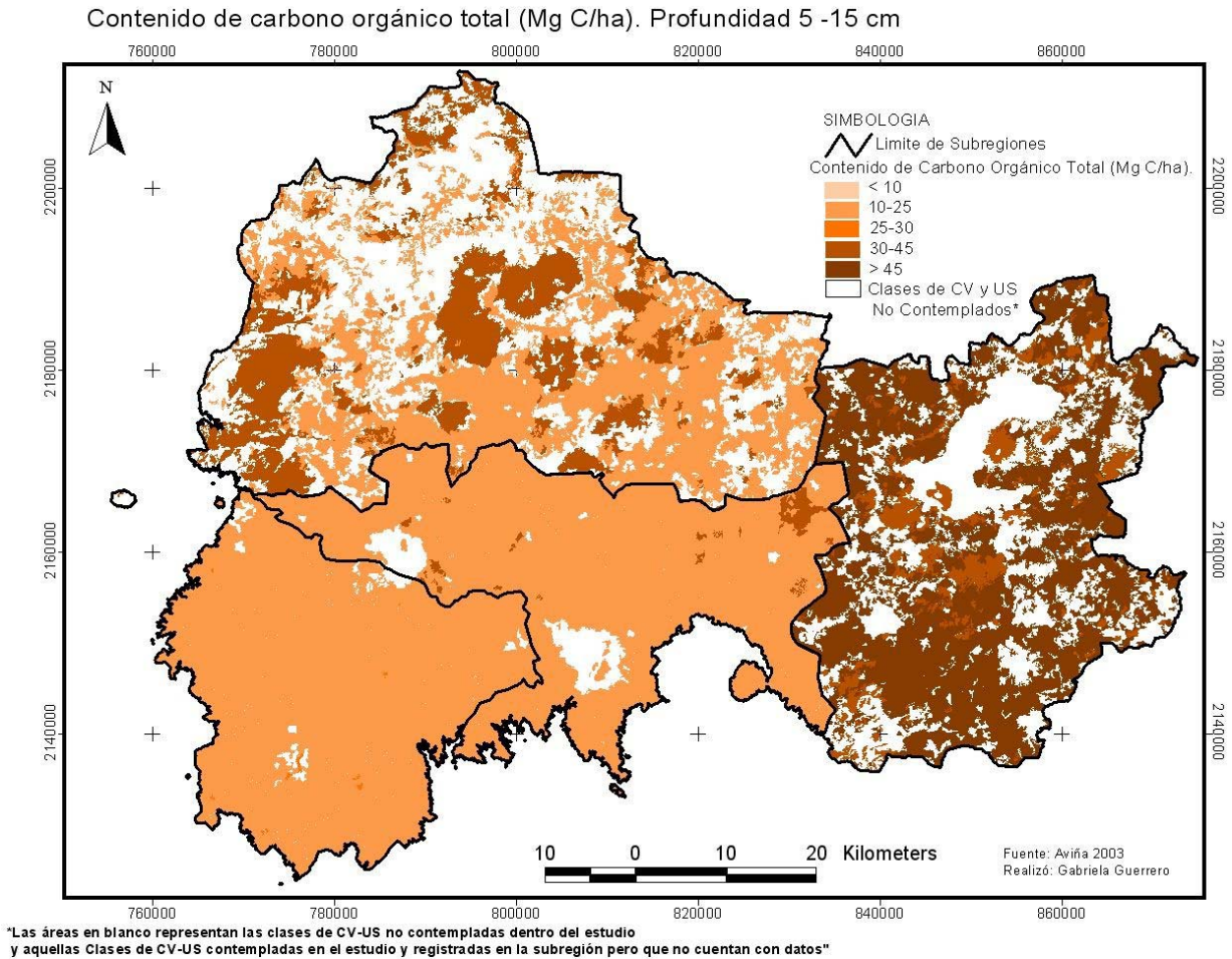


Figura 24. Mapa de contenido promedio de carbono orgánico total en suelo de 5-15 cm para cada subregión

En el mapa de contenido de carbono orgánico total de la segunda profundidad (5-15 cm) se distinguen los siguientes aspectos a nivel subregional:

En la subregión Meseta (MES), con un 40% de la superficie total sin datos, una extensión de 78 mil ha. (37.7%) presenta contenidos de carbono entre 10-25 Mg C/ha y las 46 mil ha. restantes (22.2%) registran valores entre 30-45 Mg C/ha.

En la subregión Pátzcuaro (PAT), que cuenta con una superficie de 52 mil hectáreas sin datos (33.5%), una extensión de 87,039 ha (56.2%) presenta contenidos de carbono superiores a los 45 Mg C/ha y más de 15 mil hectáreas están comprendidas en el intervalo de contenido entre 30 y 45 Mg C/ha.

En Tancítaro (TAN) casi el 98% (101 mil ha) de la superficie total está comprendida en el intervalo de contenido de 10-25 Mg C/ha; poco más de 200 ha. (0.2%) están incluidas en el intervalo de contenido superior (25-30 Mg C/ha).

En la subregión de Uruapan (URU), el 92% del área total (102,146 ha.) está ubicado en el intervalo de contenido de 10-25 Mg C/ha, mientras 2,166 ha (1.9%) se encuentran en el intervalo de contenido de 30-45 Mg C/ha.

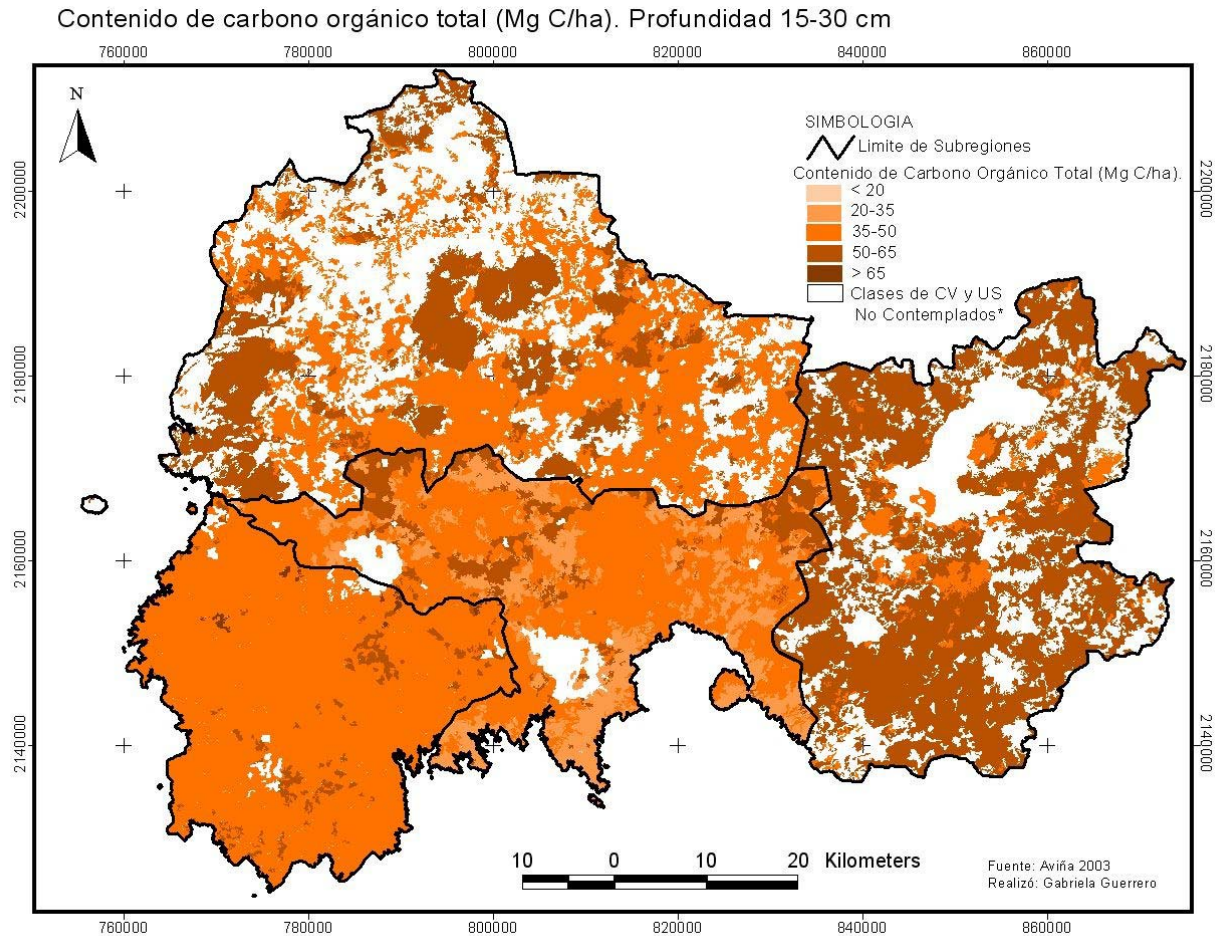
4.3.3 TERCERA PROFUNDIDAD (15-30 CM)

En la última profundidad, 15-30 cm, el bosque de encino en Tancítaro presentó los niveles más altos de contenido con 68.6 Mg C/ha, en general, esta clase de CV-US (BE) tuvo el mayor promedio de contenido de carbono a esta profundidad (56.1 Mg C/ha) y a nivel subregional, Pátzcuaro fue la que registró los contenidos superiores de carbono con 49.2 Mg C/ha.

Profundidad 15-30 cm											
Contenido de carbono orgánico total en el suelo para cada clase expresado en Mg C/ha con su error estándar entre paréntesis											
Clase de cobertura vegetal y uso del suelo											
Subregión	AGR	BE	BP	BPE	BVS	FRU	MAT	OY	PAS	REF	Promedio
MES	37.5 (9.1)		55.4 (6.2)	47.8 (7.5)			53.1 (0.7)				48.5 (4.0)
PAT	57.9 (1.1)	37.7 (4.7)	53.5 (6.4)	57.1 (5.4)			52.0 (6.0)		38.7 (5.0)	47.5 (2.3)	49.2 (3.1)
TAN	56.3 (8.2)	68.6 (12.4)	48.1 (5.8)	38.4 (4.4)	35.9 (2.9)	38.8 (2.4)	46.6 (7.2)	49.7 (8.2)	37.1 (4.9)	46.3 (7.7)	46.6 (3.2)
URU	50.9 (10.8)	61.9 (12.6)	35.7 (2.4)	35.7 (3.4)	30.4 (5.0)	36.3 (1.1)	21.5 (1.7)			14.8 (3.1)	35.9 (5.3)
Promedio	50.6 (7.0)	56.1 (4.3)	48.2 (3.7)	44.7 (6.2)	33.1 (1.2)	37.5 (2.4)	43.3 (10.3)	49.7	37.9 (1.0)	36.2 (10.7)	43.7 (2.4)

Cuadro 21. Contenido de carbono orgánico en suelo de 15-30 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

La Reforestación en Uruapan mostró los contenidos más bajos de carbono (14.8 Mg C/ha), la subregión a la que pertenece (URU) presentó en promedio los niveles inferiores de contenido de carbono (35.9 Mg C/ha) y el bosque de vegetación secundaria fue la clase de CV-US que tuvo en promedio los valores más bajos de contenido de carbono para esta profundidad con 33.1 Mg C/ha.



*Las áreas en blanco representan las clases de CV-US no contempladas dentro del estudio y aquellas Clases de CV-US contempladas en el estudio y registradas en la subregión pero que no cuentan con datos"

Figura 25. Mapa de contenido promedio de carbono orgánico total en suelo de 15-30 cm para cada subregión

El mapa de contenido de carbono orgánico total para la tercera profundidad (15-30 cm) indica lo siguiente:

En la subregión Meseta (MES), donde un 40% de la superficie carece de datos, una extensión territorial similar (ca. 80 mil ha.) que representa el 37.7% está comprendida en el intervalo entre 35-50 Mg C/ha; el resto, 22.2% (46 mil ha) están incluidas en el intervalo entre 50-65 Mg C/ha.

La subregión Pátzcuaro (PAT) muestra además de las 52 mil ha sin datos, una superficie equivalente al 60.6% del total (ca. 94 mil ha) comprendidas en el intervalo de 50-65 Mg C/ha, el 5.7% restante está ubicado en el intervalo de 35-50 Mg C/ha.

En Tancítaro (TAN), cerca de 97 mil ha que representan el 93% de la superficie total se encuentran dentro del intervalo de concentración de carbono entre 35-50 Mg C/ha; el resto se distribuye de la siguiente manera: 4.2% (4 mil ha.) en el intervalo de concentración de 50-65 Mg C/ha y 0.5% (600 ha) con contenidos de carbono superiores a los 65 Mg C/ha.

En la subregión de Uruapan (URU) poco más de la mitad de la superficie total (52.5%) está comprendida en el intervalo de contenido entre 35-50 Mg C/ha, el 28.4% (31,500 ha) se encuentran en el intervalo de contenido entre 20 y 35 Mg C/ha, 13.1% (14 mil ha) están incluidas en el intervalo de contenido entre 50-65 Mg C/ha y solo 0.7% (9 ha) presenta contenidos de carbono inferiores a los 20 Mg C/ha.

4.3.4 CONTENIDOS DE 0-30 CM DE PROFUNDIDAD

Considerando la suma de toda las profundidades muestreadas (0-30 cm) el Bosque de Encino en Uruapan fue la clase de cobertura vegetal y uso del suelo que registró los contenidos de carbono más altos con 162.0 Mg C/ha, esta misma clase de CV-US tuvo los mayores contenidos de carbono en promedio (128.2 Mg C/ha); en tanto que la subregión (PAT) tuvo los contenidos superiores de carbono en promedio (114.6 Mg C/ha)

Profundidad 0-30 cm											
Contenido de carbono orgánico total en el suelo para cada clase expresado en Mg C/ha con su error estándar entre paréntesis											
Clase de cobertura vegetal y uso del suelo											
Subregión	AGR	BE	BP	BPE	BVS	FRU	MAT	OY	PAS	REF	Promedio
MES	72.4 (14.4)		129.1 (18.1)	90.2 (13.4)			119.4 (9.2)				102.8 (13.1)
PAT	123.9 (3.6)	112.0 (9.9)	114.9 (14.0)	152.7 (14.6)			110.8 (14.6)		85.4 (9.9)	102.4 (5.2)	114.6 (7.8)
TAN	96.9 (14.1)	110.5 (16.9)	78.8 (11.7)	86.9 (10.7)	72.1 (4.8)	80.7 (5.8)	90.3 (14.8)	93.1 (17.9)	78.4 (9.9)	100.5 (20.2)	88.8 (3.7)
URU	77.5 (15.7)	162.0 (29.6)	86.7 (10.0)	86.9 (11.4)	69.0 (10.6)	74.1 (3.3)	40.8 (3.7)			24.9 (5.4)	77.7 (14.3)
Promedio	92.7 (11.7)	128.2 (16.9)	102.4 (11.8)	104.2 (16.2)	70.6 (1.5)	77.4 (3.3)	90.3 (17.6)	93.1	81.9 (3.5)	75.9 (25.5)	91.7 (5.4)

Cuadro 22. Contenidos de carbono orgánico total en suelos a 3 profundidades para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo y contenido de carbono orgánico total acumulado de 0-30 cm.

La Reforestación en Uruapan tuvo los niveles de concentración de carbono más bajos de la región (24.9 Mg C/ha), de hecho esta subregión (URU) registró los menores valores promedio con 77.7 Mg C/ha y la clase de cobertura vegetal y uso del suelo con los valores inferiores promedio fue el Bosque con Vegetación Secundaria (70.6 Mg C/ha).

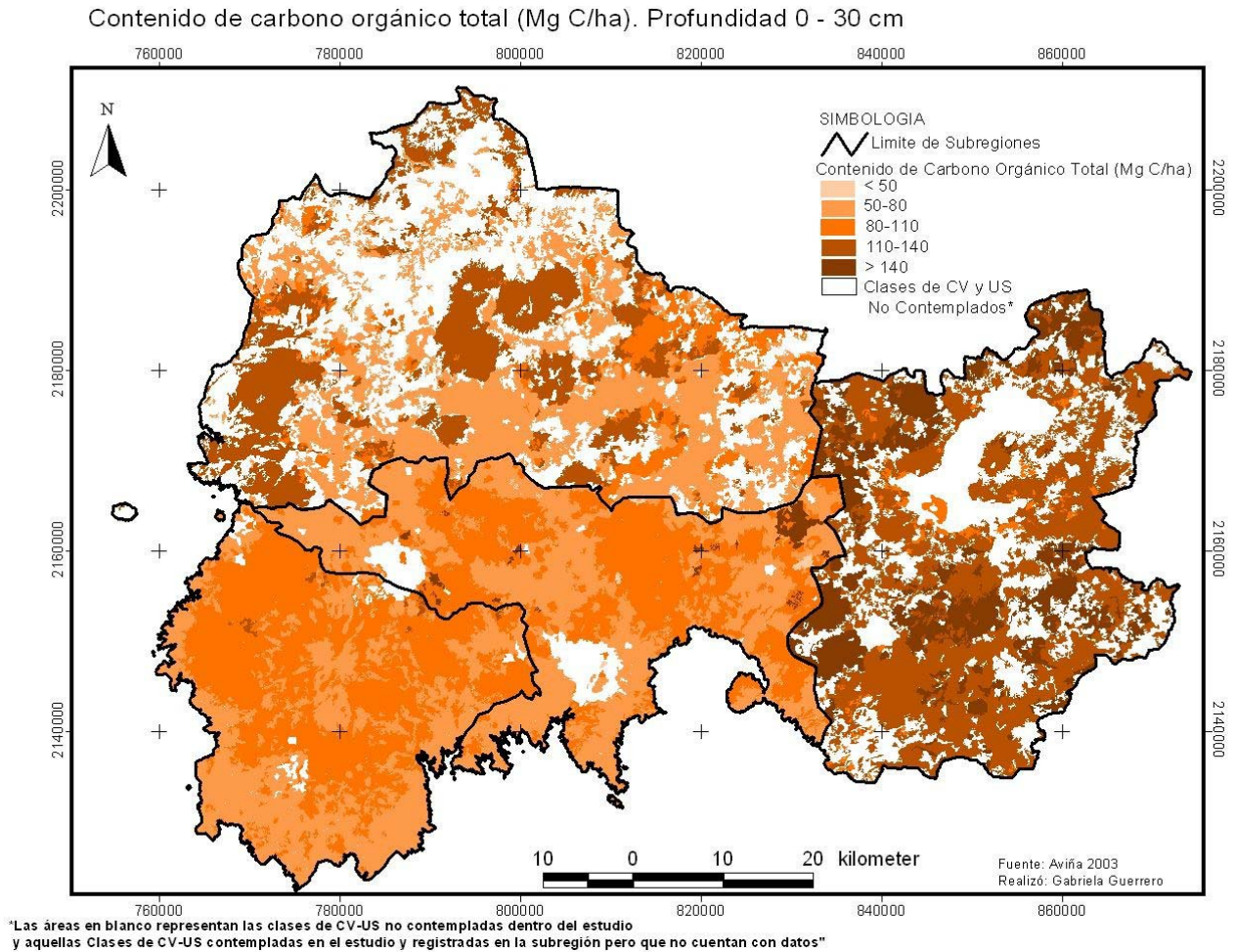


Figura 26. Mapa de contenido promedio de carbono orgánico total acumulado en suelo de 0-30 cm para cada subregión

En el mapa de contenido de carbono orgánico total acumulado de 0 a 30 cm de profundidad se pueden expresar las siguientes observaciones:

En la subregión Meseta (MES) que presenta un 40% de su superficie sin datos; el resto se distribuye de la siguiente manera: 29% está comprendido por el intervalo de contenido de carbono de 50-80 Mg C/ha (60 mil ha); 18.8% del área total representa contenidos superiores a 140 Mg C/ha; los intervalos de 80-110 y 110-140 Mg C/ha abarcan el 9 y el 3.2 % respectivamente.

La subregión Pátzcuaro (PAT) que incluye un área del 33% que no contiene datos, presenta para los intervalos de contenido de carbono de 110-140 Mg C/ha una extensión superior a las 65 mil hectáreas que representan el 44% de la superficie total, 20.5% de la subregión muestra contenidos superiores a 140 Mg C/ha (31,000 ha), por último el intervalo de contenido de carbono de 80-110 Mg C/ha tiene un área de poco más de 3 mil hectáreas correspondiente al 2% de la superficie total.

En la subregión Tancítaro (TAN) se identifica un área que cubre el 53.6% (55 mil ha) de la superficie total y que corresponde al intervalo de contenido de 80-110 Mg C/ha,

el 44% de la región (45 mil ha) se ubica dentro del intervalo de contenido de 50-80 Mg C/ha; además del 2% de la superficie total que no está incluida en el estudio, resta una pequeña área de 600 hectáreas incluida en el intervalo de contenido de 110-140 Mg C/ha y que representa 0.5% del área total.

En la subregión Uruapan (URU) el 51% de la superficie total (ca. 57 mil ha) se encuentra comprendida en el intervalo de contenido de 50-80 Mg C/ha, le sigue en tamaño el intervalo de contenido de 80-110 Mg C/ha con cerca de 45 mil hectáreas (40%); 2% del área (2 mil ha) muestra niveles de contenido superiores a 140 Mg C/ha y solo 500 ha (0.4%) muestran niveles de contenido inferiores a 50 Mg C/ha. El 6% restante representa las áreas que no fueron contempladas en este estudio.

4.4 Cálculo del contenido total de carbono a nivel subregional y regional

El cálculo del contenido total de carbono para las profundidades 0-5 cm y 0-30 cm a nivel subregional y regional se muestra a continuación.

4.4.1 ANÁLISIS SUBREGIONAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 0-5 CM

En la Subregión Meseta (207 mil ha) se calculó un total de 3,010 Gg C para esta profundidad provenientes de 4 clases de CV-US: Bosque de Pino, Agricultura, Bosque de Pino-Encino y Matorrales; de esta cantidad, poco más del 50% (1,524 Gg C) procede de los Bosques de Pino que comprenden el 18.8% de la superficie total (ca. 40 mil ha), la clase de CV-US que sigue en importancia es Agricultura con 885 Gg C (29.3% del total) y un área correspondiente al 29% del total (60 mil ha), le sigue con 355 Gg C (11.8%) el Bosque de Pino-Encino que abarca poco más de 18 mil ha (8.7% del área total) y por último se ubican el Matorral, que representa 3.3% de la superficie total (7 mil ha), con 247 Gg C (Cuadro 23).

Subregión MESETA	Superficie (ha)	Contenido de C (Mg C/ha)	Carbono Total por Clase CV-US (Gg C)	% del Total
Otros	7,096.94			
Agricultura	60,174.06	14.7	884.56	29.38
Bosque con Veg Sec	58,195.57			
Bosque Encino	1,189.15			
Bosque Oyamel	2,633.11			
Bosque Pino	39,080.75	39.0	1524.15	50.62
Bosque Pino-encino	18,111.90	19.6	354.99	11.79
Frutales	3,288.00			
Matorral	7,034.67	35.1	246.92	8.20
Pastizal	10,499.93			
Reforestación	217.04			
Total	207,521.11		C Total subregional 3010.62	100

Cuadro 23. Contenidos totales de carbono orgánico en suelos de 0-5 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional (Meseta).

Para la Subregión Pátzcuaro, con una extensión de casi 155 mil ha, se calculó un total de 2,834 Gg C procedentes de 7 clases de CV-US: Agricultura, Bosque de Encino, Bosque de Pino, Bosque de Pino-Encino, Matorral, Pastizal y Reforestación. El Bosque de Pino-Encino se situó como la clase de CV-US con mayor contenido de carbono (1,328 Gg C) que equivalen al 47% del total en una superficie de 31 mil ha (20% del área total); al igual que en la subregión anterior, la Agricultura representó la segunda clase de CV-US en importancia al registrar 1,060 Gg C (37.3%) en poco más de 55 mil ha (36%). Con menores contenidos de carbono se ubicaron el Bosque de Encino, el Bosque de Pino, el Matorral, el Pastizal con 215 Gg C (7.6%), 117.5 Gg C (4.1%), 58.5 Gg C (2 %) y 44.5 Gg C (1.5%) respectivamente; por último la Reforestación, con una superficie menor al 1% del total, contiene menos de 10 Gg C (< 1%). (Cuadro 24)

Subregión PÁTZCUARO	Superficie (ha)	Contenido de C (Mg C/ha)	Carbono Total por Clase CV-US (Gg C)	% del Total
Otros	13811.52			
Agricultura	55480.92	19.1	1059.69	37.39
Bosque con Veg Sec	34641.64			
Bosque Encino	5634.19	38.2	215.23	7.60
Bosque Oyamel	1489.92			
Bosque Pino	4538.50	25.9	117.55	4.14
Bosque Pino-encino	31558.73	42.1	1328.62	46.88
Frutales	2073.77			
Matorral	2339.60	25.0	58.49	2.06
Pastizal	2796.42	15.9	44.46	1.57
Reforestación	552.41	18.0	9.94	< 1
Total	154,917.63		C Total subregional 2833.98	100

Cuadro 24. Contenidos totales de carbono orgánico en suelos de 0-5 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional (Pátzcuaro).

La Subregión Tancítaro con una superficie total de 103 mil ha donde se encuentran representadas todas las clases de CV-US, presenta los siguientes resultados para esta profundidad: Los Frutales, que abarcan ca. 33 mil ha (31.3%) son la clase de CV-US con mayor contenido de carbono al registrar 623 Gg C (29.6% del total); los Bosques con Vegetación Secundaria que comprenden el 26.8% de la superficie de la subregión, aportan 591 Gg C (28.1%) al contenido total; sigue -con 458 Gg C (21.8%)- el Bosque de Pino-Encino (14.5% del área total), continúa en importancia el Bosque de Pino con 239 Gg C (11.4%), con menos de 100 Gg C se encuentran la Agricultura (79 Gg C = 3.7%), el Bosque de Oyamel (65 Gg C = 3.1%), el Pastizal (28 Gg C = 1.3%) y el Bosque de Encino (12 Gg C = 0.6%), por último con valores inferiores a 10 Gg C que representa menos del 1% del total se ubican el Matorral (4 Gg C) y la Reforestación (0.5 Gg C). En total la subregión registra 2103 Gg C para esta profundidad (Cuadro 25).

Subregión TANCÍTARO	Superficie (ha)	Contenido de C (Mg C/ha)	Carbono Total por Clase CV-US (Gg C)	% del Total
Otros	2036.56			
Agricultura	4434.40	17.9	79.38	3.77
Bosque con Veg Sec	27778.33	21.3	591.68	28.13
Bosque Encino	616.11	19.9	12.26	< 1
Bosque Oyamel	3264.04	20.0	65.28	3.10
Bosque Pino	16533.49	14.5	239.74	11.40
Bosque Pino-encino	15122.58	30.3	458.21	21.78
Frutales	32479.29	19.2	623.60	29.64
Matorral	214.02	18.5	3.96	< 1
Pastizal	1116.40	24.9	27.80	1.30
Reforestación	20.69	24.4	0.50	< 1
Total	103,615.90		C Total subregional 2103.23	100

Cuadro 25. Contenidos totales de carbono orgánico en suelos de 0-5 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional (Tancítaro).

En Uruapan que cuenta con un área de 110,900 ha se contabilizaron 2,548 Gg C en 8 clases de CV-US. El Bosque con Vegetación Secundaria, con una superficie de 31 mil ha (28% del total), registró el mayor contenido de carbono en la subregión con 748 Gg C, equivalentes al 29.3% del total; le siguen en importancia con 635 y 620 Gg C el Bosque de Pino y el Bosque de Pino-Encino (25% y 24%) que presentan extensiones territoriales similares equivalentes al 20% de la superficie total; los Frutales que abarcan 13 mil ha (12% del total) sumaron 290 Gg C (11.4%) y la Agricultura que comprende 12 mil ha (11% del total) cuenta con 117 Gg C (4.6%); mostrando contenido de carbono inferiores a 5 Gg C se encuentran el Matorral (4.3 Gg C) y la Reforestación (0.05 Gg C) que solo cubre 8 ha. en la subregión. (Cuadro 26)

Subregión URUAPAN	Superficie (ha)	Contenido de C (Mg C/ha)	Carbono Total por Clase CV-US (Gg C)	% del Total
Otros	6521.08			
Agricultura	12364.55	9.5	117.46	4.60
Bosque con Veg Sec	31035.95	24.1	747.97	29.35
Bosque Encino	2166.37	61.5	133.23	5.22
Bosque Oyamel	23.62			
Bosque Pino	22267.76	28.5	634.63	24.90
Bosque Pino-encino	22566.94	27.5	620.59	24.35
Frutales	13432.76	21.6	290.15	11.38
Matorral	469.95	9.2	4.32	< 1
Pastizal	43.14			
Reforestación	8.85	6.2	0.05	< 1
Total	110,900.96		C Total subregional 2548.41	100

Cuadro 26. Contenidos totales de carbono orgánico en suelos de 0-5 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional (Uruapan).

4.4.2 ANÁLISIS SUBREGIONAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 0-30 CM

En la Subregión Meseta que cuenta con una superficie de 207 mil ha se calculó un total de 11,875 Gg C para esta profundidad procedentes de 4 clases de CV-US: BP, AGR, BPE y MAT, al igual que en la profundidad anterior (0-5 cm), las clases de CV-US contribuyen al contenido total de carbono en el mismo orden; poco más de 5 mil Gg C (42%) provienen de los Bosques de Pino que comprenden el 18.8% del territorio de la subregión (ca. 40 mil ha), la Agricultura que sigue en importancia suma 4,356 Gg C (37%), el Bosque de Pino-Encino incorporó 1,633 Gg C (13.7%) al total y el Matorral acumuló 839 Gg C (7%).

Se hizo una estimación del contenido de carbono en los Bosques con Vegetación Secundaria ya que representan el 28% de la superficie total (58 mil ha), para ello se empleó el valor promedio de esta clase de CV-US obtenido a partir de los sitios muestreados en las subregiones de Tancítaro y Uruapan debido a la pequeña varianza de sus datos (70.6 Mg C/ha \pm 1.5). La estimación del carbono contenido en esta clase de CV-US es de 4,108 Gg C, que colocaría a esta clase en la tercera posición por debajo del Bosque de Pino y la Agricultura. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro

Subregión MESETA	Superficie (ha)	Contenido de C (Mg C/ha)	Carbono Total por Clase CV-US (Gg C)	% del Total
Otros	7,096.94			
Agricultura	60,174.06	72.4	4356.60	36.7 (27.2)
Bosque con Veg Sec	58,195.57	70.6*	4108.60 [†]	(25.7)
Bosque Encino	1,189.15			
Bosque Oyamel	2,633.11			
Bosque Pino	39,080.75	129.1	5045.32	42.5 (31.6)
Bosque Pino-encino	18,111.90	90.2	1633.69	13.8 (10.2)
Frutales	3,288.00			
Matorral	7,034.67	119.4	839.94	7.1(5.2)
Pastizal	10,499.93			
Reforestación	217.04			
Total	207,521.11	C Total subregional	11875.56 (15984.16)	100

*Valor estimado que corresponde al promedio de la clase (BVS) para esa profundidad; [†]Cálculo estimado. En el total aparece entre paréntesis los cálculos incluyendo la estimación del contenido de carbono en los bosques con vegetación secundaria.

Cuadro 27. Contenidos totales de carbono orgánico en suelos de 0-30 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional (Meseta).

Para la Subregión Pátzcuaro, con una extensión cercana a las 155 mil ha, se calculó un total de 13,400 Gg C a partir de 7 clases de CV-US: Agricultura, Bosque de Encino, Bosque de Pino, Bosque de Pino-Encino, Matorral, Pastizal y Reforestación. A diferencia de la profundidad analizada anteriormente (0-5 cm), la Agricultura fue la clase de CV-US con mayor contenido de carbono (6,874 Gg C) equivalentes al 51.3% del total en una superficie de 55 mil ha (35.8% del área total), el Bosque de Pino-Encino representó la segunda clase de CV-US en importancia al registrar 4,819 Gg C (36%) en poco más de 31 mil ha (20.3%). Con valores inferiores a 1 Tg C (1,000 Gg C) se ubicaron el Bosque de Encino, el Bosque de Pino, el Matorral, el Pastizal y la Reforestación con 631 Gg C (4.7%), 521 Gg C (3.8%), 259 Gg C (1.9%), 238 Gg C (1.8%) y 56 Gg C (0.4%) respectivamente.

Al igual que en la subregión anterior, se realizó una estimación del contenido de carbono en los Bosques de Vegetación Secundaria que en Pátzcuaro ocupan casi 35 mil ha, correspondientes al 22.3% de la superficie total. También se utilizó el valor promedio de esta clase de CV-US en los sitios muestreados en las subregiones de Tancítaro y Uruapan (70.6 Mg C/ha \pm 1.5). El resultado obtenido fue de 2,445 Gg C que colocarían a esta clase de CV-US como la tercera en importancia después de Agricultura y Bosque de Pino-Encino. (Cuadro 28)

Subregión PÁTZCUARO	Superficie (ha)	Contenido de C (Mg C/ha)	Carbono Total por Clase CV-US (Gg C)	% del Total
Otros	13811.52			
Agricultura	55480.92	123.9	6874.09	51.3 (43.4)
Bosque con Veg Sec	34641.64	70.6*	2445.69 [†]	(15.4)
Bosque Encino	5634.19	112.0	631.03	4.7 (4.0)
Bosque Oyamel	1489.92			
Bosque Pino	4538.50	114.9	521.47	3.9 (3.3)
Bosque Pino-encino	31558.73	152.7	4819.02	36.0 (30.4)
Frutales	2073.77			
Matorral	2339.60	110.8	259.23	2.0 (1.6)
Pastizal	2796.42	85.4	238.81	1.8 (1.5)
Reforestación	552.41	102.4	56.57	< 1
Total	154,917.63	C Total subregional	13400.22 (15845.91)	100

*Valor estimado que corresponde al promedio de la clase (BVS) para esa profundidad; [†]Cálculo estimado. En el total aparece entre paréntesis el cálculo incluyendo la estimación del contenido de carbono en los bosques con vegetación secundaria.

Cuadro 28. Contenidos totales de carbono orgánico en suelos de 0-30 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional (Pátzcuaro).

La Subregión Tancítaro (103,615 ha) donde se encuentran representadas todas las clases de CV-US, presenta los siguientes resultados para esta profundidad: Como en la profundidad anterior (0-5 cm) los Frutales, que abarcan ca. 33 mil ha (31.3%) son la clase de CV-US con mayor contenido de carbono al registrar 2621 Gg (32.1% del total); los Bosques con Vegetación Secundaria que comprenden el 26.8% de la superficie de la subregión, aportan 2,002 Gg C (24.5%) al contenido total; siguen con valores de contenido de carbono muy cercanos el Bosque de Pino-Encino y el Bosque de Pino con 1,314 Gg C y 1,302 Gg C (ca. 16%), respectivamente. Por debajo de 1,000 Gg C (1 Tg) se sitúan la Agricultura (429 Gg C = 5.2%), el Bosque de Oyamel (303 Gg C = 3.7%), el Pastizal (87 Gg C = 1.0%), el Bosque de Encino (68 Gg C = 0.8%) y el Matorral (19 Gg C = 0.2%), por último con valores inferiores a 5 Gg C se ubica la Reforestación (2 Gg C = 0.02%). En total la subregión registró 8,157 Gg C (Cuadro 29).

Subregión TANCÍTARO	Superficie (ha)	Contenido de C (Mg C/ha)	Carbono Total por Clase CV-US (Gg C)	% del Total
Otros	2036.56			
Agricultura	4434.40	96.9	429.69	5.2
Bosque con Veg Sec	27778.33	72.1	2002.82	24.6
Bosque Encino	616.11	110.5	68.08	< 1
Bosque Oyamel	3264.04	93.1	303.88	3.7
Bosque Pino	16533.50	78.8	1302.84	16.0
Bosque Pino-encino	15122.577	86.9	1314.15	16.1
Frutales	32479.29	80.7	2621.08	32.1
Matorral	214.02	90.3	19.33	< 1
Pastizal	1116.40	78.4	87.53	1.0
Reforestación	20.68	100.5	2.08	< 1
Total	103,615.90	C Total subregional	8151.47	100

Cuadro 29. Contenidos totales de carbono orgánico en suelos de 0-30 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional (Tancítaro).

En Uruapan que cubre un área de 110,900 ha se contabilizaron 8,357 Gg C en 8 clases de CV-US. El Bosque con Vegetación Secundaria, con una superficie de 31 mil ha (28% del total), registró el mayor contenido de carbono en la subregión con 2,141 Gg C, equivalentes al 25.6% del total; le siguen en importancia con 1,961 y 1,930 Gg C el Bosque de Pino-Encino y el Bosque de Pino (23.4% y 23.1%) que presentan extensiones territoriales similares equivalentes al 20% de la superficie total; con niveles inferiores a 1,000 Gg C (1 Tg C) se encuentran los Frutales que abarcan 13 mil ha (12% del total) con 995 Gg C (11.9%) y la Agricultura que comprende 12 mil ha (11% del total) cuenta con 958 Gg C (11.4%); mostrando contenido de carbono muy bajos se encuentran el Matorral (19 Gg C = 0.2%) y la Reforestación (0.22 Gg C) cuya aportación al total es poco significativa. Los datos están representados en la tabla siguiente (Cuadro 30).

Subregión URUAPAN	Superficie (ha)	Contenido de C (Mg C/ha)	Carbono Total por Clase CV-US (Gg C)	% del Total
Otros	6521.08			
Agricultura	12364.55	77.5	958.25	11.5
Bosque con Veg Sec	31035.95	69.0	2141.48	25.6
Bosque Encino	2166.37	162.0	350.95	4.1
Bosque Oyamel	23.62			
Bosque Pino	22267.76	86.7	1930.62	23.1
Bosque Pino-encino	22566.94	86.9	1961.07	23.5
Frutales	13432.76	74.1	995.37	11.9
Matorral	469.95	40.8	19.17	< 1
Pastizal	43.14			
Reforestación	8.85	24.9	0.22	< 1
Total	110,900.96	C Total subregional	8357.13	100

Cuadro 30. Contenidos totales de carbono orgánico en suelos de 0-30 cm para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel subregional (Uruapan).

4.4.3 ANÁLISIS REGIONAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 0-5 CM

Una vez calculados los contenidos de carbono para la primera profundidad (0-5 cm) a nivel subregional se realizó un análisis de contenidos a nivel regional sumando el resultado de cada una de las clases de CV-US para esta profundidad en las 4 subregiones. Los resultados se muestran en la siguiente tabla (Cuadro 31).

Región Purépecha	Superficie Total (ha)	Contenido de Carbono Total (Gg C)	% del Total
Otros	29,466.10		
Agricultura	132,453.92	2,141.09	20.4
Bosque con Veg Sec	151,651.49	1,339.65	12.8
Bosque Encino	9,605.82	360.72	3.4
Bosque Oyamel	7,410.69	65.28	< 1
Bosque Pino	82,420.50	2,516.07	24.0
Bosque Pino-encino	87,360.15	2,762.41	26.3
Frutales	51,273.82	913.75	8.7
Matorral	10,058.23	313.69	3.0
Pastizal	14,421.60	72.26	< 1
Reforestación	833.27	10.49	< 1
Total	576,955.60	10,495.41	100

Cuadro 31. Contenido total de carbono orgánico en suelos de 0-5 cm por clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel regional.

La clase de cobertura vegetal y uso del suelo que presentó el mayor contenido de carbono a esta profundidad (0-5 cm) a nivel regional fue el Bosque de Pino-Encino – (15% del área total)- con 2,762 Gg C que representan el 26% del contenido total de carbono de la región para esta profundidad. Le sigue en importancia el Bosque de Pino con poco más de 2,500 Gg C (24% del total) equivalentes al 14% del área total de la región. En tercer sitio quedó la Agricultura que cubre el 23% de la superficie con 2,141 Gg C que corresponden al 20% del contenido total regional.

Cabe destacar al Bosque con Vegetación Secundaria por ser la clase de CV-US con mayor superficie en la región (150 mil ha = 26.2% del total), pese a no contar con datos en las subregiones Meseta y Pátzcuaro, acumuló un total de 1339 Gg C provenientes de las subregiones Tancitaro y Uruapan, que representan el 13% del contenido total.

Con niveles entre 100 y 1,000 Gg C se ubican los Frutales (913 Gg C = 8.7%), el Bosque de Encino (360 Gg C = 3.4%) y el Matorral (313 Gg C = 3%) que representan en extensión superficial 9%, 2% y 2% del total, respectivamente.

El Pastizal, el Bosque de Oyamel y la Reforestación acumularon menos de 100 Gg C a nivel regional para esta profundidad (72 Gg C, 65 Gg C y 10.5 Gg C); su contribución conjunta al contenido total de carbono es de 1.4%.

El contenido total de carbono a nivel regional para esta profundidad (0-5 cm) es de 10,495 Gg C (ca. 10.5 Tg C).

4.4.4 ANÁLISIS REGIONAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 0-30 CM

Al igual que en la profundidad anterior, los resultados del contenido total de carbono obtenidos a nivel subregional para cada una de las clases de CV-US se sumaron y se determinaron los contenidos de carbono totales a nivel regional. En la tabla siguiente se presentan los resultados. (Cuadro 32).

Región Purépecha	Superficie Total (ha)	Contenido de Carbono Total (Gg C)	% del Total
Otros	29,466.10		
Agricultura	132,453.92	12,618.63	30.2 (26.1)
Bosque con Veg Sec	151,651.49	4,144.3 (10,698.59)	10.0 (22.1)
Bosque Encino	9,605.82	1,050.06	2.5 (2.1)
Bosque Oyamel	7,410.69	303.88	< 1 (< 1)
Bosque Pino	82,420.50	8,800.25	21.0 (18.2)
Bosque Pino-encino	87,360.15	9,727.93	23.3 (20.1)
Frutales	51,273.82	3,616.45	8.7 (7.5)
Matorral	10,058.23	1,137.67	2.7 (2.3)
Pastizal	14,421.60	326.34	< 1 (< 1)
Reforestación	833.27	58.87	< 1 (< 1)
Total	576,955.60	41,784.38 (48,338.67)	100

En el total aparece entre paréntesis el cálculo incluyendo la estimación del contenido de carbono en los bosques con vegetación secundaria para las subregiones de Meseta y Pátzcuaro.

Cuadro 32. Contenido total de carbono orgánico en suelos de 0-30 cm por clase de cobertura vegetal y uso del suelo a nivel regional.

En esta profundidad (0-30 cm), la Agricultura que ocupa el 23% de la superficie total es la clase de cobertura vegetal y uso del suelo que aporta los mayores contenidos al total de carbono para la región, 12.6 Tg C que equivalen al 30.2% del total. Sigue en importancia el Bosque de Pino-Encino que abarca 15.1% del área regional, con un contenido total de carbono cercano a los 10 Tg C (9,727 Gg C) que representan el 23.3% del total. En tercer lugar se encuentra el Bosque de Pino (14.3% de la extensión territorial) con 8,800 Gg C que comprenden el 21% del contenido total de C.

Como en la primera profundidad (0-5 cm); los Bosques con Vegetación Secundaria pertenecen a una clase que por no contar con datos en las subregiones de Meseta y Pátzcuaro pudiera estar subestimada, por ello se realizó la estimación del contenido de carbono en las subregiones mencionadas para esta profundidad (Cuadros 21 y 22), los resultados de la estimación se integraron al análisis regional y están colocados en el cuadro entre paréntesis. Con los datos de las subregiones Tancítaro y Uruapan para esta clase, se obtuvieron 4,144 Gg C que corresponden al 10% del contenido total; al colocar el valor de las estimaciones realizadas en las subregiones de Meseta y Pátzcuaro y sumarlas al total, la proporción de esta clase se incrementa a 22% del total.

Los frutales, con una superficie equivalente al 8.8% del total, sumaron 3,616 Gg C (8.6% del total); con niveles apenas por encima de 1 Tg C se ubicaron el Matorral (1,137 Gg C) y el Bosque de Encino (1,050 Gg C), sus porcentajes representan el 2.7% y el 2.5% del total, respectivamente.

En el mismo orden que en la primera profundidad (0-5 cm), el Pastizal, el Bosque de Oyamel y la Reforestación fueron las clases de CV-US con menores contenidos de carbono (326 Gg C, 303 Gg C y 58 Gg C), sumadas las tres no alcanzan a rebasar los 1,000 Gg C (689 Gg C).

El contenido total de carbono a nivel regional para esta profundidad (0-30 cm) es de 41,784 Gg C y considerando las estimaciones del Bosque con Vegetación Secundaria este valor es de 48,338 Gg C.

V. DISCUSIÓN

5.1 Concentración de carbono orgánico total por clase de cobertura vegetal y uso del suelo por profundidad a nivel subregional.

En cuanto a la concentración de carbono orgánico total por clase de CV-US a nivel subregional, Pátzcuaro fue la subregión que presentó los valores mayores de concentración en los primeros 15 cm de profundidad, especialmente en las clases forestales de cobertura vegetal (Bosques de encino y de pino-encino). Estos resultados pueden deberse a que los bosques en Pátzcuaro posiblemente tienen una mayor productividad en relación a los bosques de las otras subregiones. Sin embargo, no contamos con datos de productividad para apoyar esta idea. Pero la productividad está influenciada por la temperatura, la cual tiene una relación inversa con la altitud. A mayor temperatura los bosques tienen una mayor productividad (Aber y Melillo, 1991), por lo tanto se espera que los bosques que se encuentran a mayor altitud sean menos productivos que los bosques a altitudes menores. En el Cuadro 33 se presentan las altitudes promedio y máximas de las subregiones. Como se observa en el cuadro, los valores más bajos los tienen Pátzcuaro y Uruapan.

Subregión	Altitud promedio m s.n.m.	Altitud máxima m s.n.m.	Rangos altitudinales a partir de 1,500 m s.n.m.
MES	2,488	3,500	2,016
PAT	2,408	3,340	1,842
TAN	2,656	3,840	2,358
URU	2,385	3,301	1,822
Regional	2,484	3,840	2,361

Cuadro 33. Altitudes promedio, máximas y rangos altitudinales (en m s.n.m.) en el área de estudio

Empleando los datos de 16 estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área de estudio (García, 1988) se elaboró un análisis de regresión lineal entre la altitud y la temperatura promedio anual. La relación fue significativa y conforme a lo esperado a mayor altitud existe menor temperatura media anual (Figura 27).

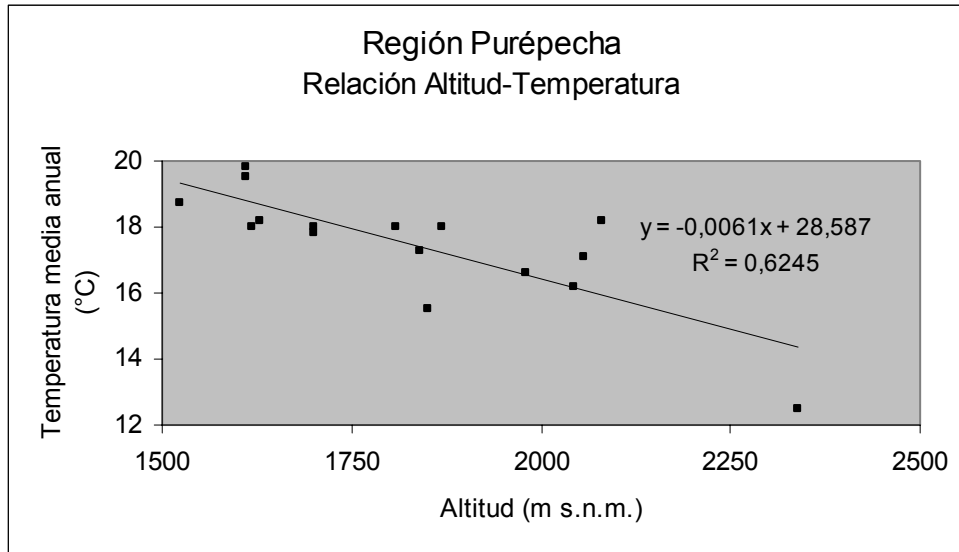


Figura 27. Análisis de datos de altitud y temperatura ubicados dentro del área de estudio.

Con la ecuación obtenida se calcularon los valores de la temperatura media anual de las altitudes promedio y máximas de cada una de las subregiones (Cuadro 34). En el cuadro se pueden observar diferencias de entre 1 y 1.5°C entre las altitudes promedio de subregión de Tancítaro, que es la más fría, con respecto a las otras; las diferencias son más evidentes en las altitudes máximas. Las subregiones de Pátzcuaro y Uruapan son las que tienen los valores estimados más altos de temperatura.

Subregión	Altitud promedio (m s.n.m.)	Temperatura media anual estimada (° C)	Altitud máxima (m s.n.m.)	Temperatura media anual estimada (° C)
MES	2,488	13.4	3,500	7.2
PAT	2,408	13.9	3,340	8.2
TAN	2,656	12.4	3,840	5.1
URU	2,385	14	3,301	8.5
Regional	2,484	13.4	3,840	8.2

Cuadro 34. Estimación de la temperatura media anual (°C) en las altitudes promedio, máximas y rangos altitudinales (en m s.n.m.) de las subregiones.

La temperatura, no sólo afecta la producción primaria, sino también existe una relación directa entre ésta y las tasas de descomposición (Aber y Melillo 1991). Por lo tanto, a mayor temperatura no solo existe una mayor producción de materia orgánica por parte de la vegetación, sino que una mayor velocidad de descomposición y por lo tanto de integración de C en el suelo. Estos datos sugieren que en la región de Pátzcuaro, los suelos de los bosques tienen mayor COS debido a una mayor incorporación de materia orgánica en relación a las otras subregiones.

En los restantes 15 cm de profundidad (de 15 a 30 cm), las subregiones Meseta y Pátzcuaro presentaron las mayores concentraciones de carbono orgánico promedio. Por clase de CV-US, destacó la Agricultura, especialmente en Pátzcuaro (4.5%), junto con las

tres tipos de coberturas boscosas (BE, BPE, BP). Es posible que el carbono presente en los suelos agrícolas de las subregiones Pátzcuaro y Meseta sea remanente y provenga de los bosques que originalmente se encontraban en ellos y que posiblemente eran más productivos que los bosques que actualmente se mantienen conservados. Esto puede deberse a las siguientes causas: por lo general, se trataba de bosques ubicados en tierras bajas (con respecto a los que quedan), con poca pendiente y con suelos profundos, a diferencia de los suelos de los bosques remanentes que se ubican por lo general en lugares altos, de accidentada topografía, con suelos pedregosos pobremente desarrollados (malpaíses); aunque también es posible que pueda deberse a las prácticas de cultivo, donde se mantienen los rastros de un cultivo anterior para mejorar la estructura del suelo. Es importante considerar la diversidad edáfica de la zona para comprender el potencial de cada unidad del suelo en la acumulación de carbono.

Las subregiones de Uruapan y Tancítaro tienen una mayor homogeneidad espacial en las concentraciones promedio de carbono orgánico de los primeros 15 cm de profundidad. Uruapan agrupa cuatro coberturas vegetales "arbóreas" (BP, BPE, BVS y FRU), que representan en su conjunto el 80% de la superficie total y tienen una concentración de COT entre 4.1 y 6% en los primeros 5 cm. El BE que ocupa únicamente el 2% del área total, es la única cobertura vegetal arbórea con concentraciones de carbono superiores al 8%. Estos resultados se presentan también en las otras dos profundidades (de 5 y 15 cm).

En Tancítaro, las asociaciones en las concentraciones de carbono orgánico entre las clases de cobertura vegetal y uso del suelo son más evidentes. En los primeros 5 cm, ocho de las diez clases que en superficie representan más del 80% de la subregión, presentan concentraciones de COT entre 2.1-4%, solo el Bosque de Pino-Encino y los Pastizales (16% del área total) presentan concentraciones entre 4.1-6%. Entre los 5 y los 15 cm de profundidad se mantienen agrupadas también ocho de las diez clases (excepto AGR y REF) entre el 1 y 2% de concentración de COT, en este caso las clases asociadas comprenden más del 95% de la superficie total. Por lo tanto, las clases de US y CV que ocupan la mayor superficie, tienen concentraciones de COT parecidas y eso resulta en una homogeneidad espacial de dichas concentraciones para ambas subregiones.

No obstante en la tercera profundidad (de 15 a 30 cm) se pierde la homogeneidad espacial antes mencionada, ya que las concentraciones dominantes ocupan cerca del 50% de la extensión territorial de dichas subregiones. Tanto en Uruapan como en Tancítaro, los Bosques con Vegetación Secundaria (BVS), que abarcan el 28 y 27% de la superficie de cada subregión, respectivamente; se separan del resto de las clases de CV-US y presentan concentraciones de COT entre 1-2%, inferiores a las demás. Pese a que las concentraciones de carbono promedio son mayores en Tancítaro (2.8% vs. 2.3%), la distribución espacial de las concentraciones de carbono es similar ya que las superficies arboladas de Uruapan, (bosques + frutales) abarcan el 82% de la extensión territorial en la subregión (ca. 91,000 ha.).

Estos resultados corroboran que la parte superficial de los suelos es más susceptible a los efectos del cambio en el uso del suelo y están relacionados con el horizonte de mayor acumulación de C –porque a mayor profundidad, la presencia de los horizontes minerales hacen la diferencia en la concentración de COT-. La agricultura se

ubicó en todas las subregiones, excepto Pátzcuaro, en los intervalos más bajos de concentración de COT en los primeros 5 cm del suelo. El carbono orgánico en las capas superficiales es más susceptible a la pérdida mediante la descomposición por tener mayores temperaturas (en comparación a los horizontes más profundos) y al proceso de erosión del suelo. Estos dos factores son más severos en los suelos agrícolas, porque no tienen una cobertura vegetal que los protejan contra la radiación y el intemperismo.

5.2 Contenido de carbono orgánico total por clase de cobertura vegetal y uso del suelo por profundidad a nivel subregional.

Respecto a los contenidos de carbono orgánico total en los suelos, los bosques de encino (BE) presentaron los valores más altos en las tres profundidades estudiadas. Estos resultados sugieren que los bosques con presencia de encinos son los que tienen los depósitos más importantes de carbono en los suelos de la región.

Es posible que esto se deba al papel que los encinos desempeñan en la dinámica y mantenimiento del carbono de los suelos, atribuible a diversas características de la especie, tales como la composición química de las hojas, que favorece una mayor tasa de descomposición. La calidad del mantillo es el factor predominante en la descomposición (Baker et al., 2001), ya que influye en la velocidad con la que se descompone la materia orgánica, independientemente del clima (Scott y Binkley, 1997). Por ejemplo, si dominan moléculas sencillas (tales como azúcares y proteínas) sobre moléculas más complejas (i.e. lignina), la velocidad de descomposición va ser mayor en comparación a hojas donde dominan moléculas complejas (Aber y Melillo, 1991). Las hojas de los encinos tienen una menor dominancia de moléculas complejas en comparación a las acículas de las especies de pino, por lo cual su tasa de descomposición es mayor. Por lo anterior, las hojas de los encinos al tener una mayor tasa de descomposición, favorecen la entrada de compuestos orgánicos de C al suelo.

La agricultura que en concentraciones de carbono orgánico presentaba niveles equiparables a los de los bosques a partir de los 5 cm, tiene contenidos menores. Esto puede atribuirse a dos causas: la pérdida del carbono en los primeros 5 cm, como consecuencia del cambio de cobertura vegetal original a uso agrícola mencionado en la sección anterior (FAO, 2001; Murty et. al., 2002) y que además el uso agrícola genera alteraciones en las propiedades físicas del suelo, tales como la densidad aparente, pérdida de estructura y agregación del suelo.

En cuanto a la distribución espacial de los contenidos de carbono, destaca el caso de la subregión de Pátzcuaro que a nivel global presenta las superficies más extensas dentro de los intervalos con mayores concentraciones de C. Esto se debe a que los bosques de pino-encino y la agricultura (a partir de los 5 cm), son las clases de CV-US con mayores contenidos de carbono en esta subregión y representan en conjunto más del 50% de la superficie total de la subregión (ca. 87 mil ha). El BPE en Pátzcuaro es la clase de CV-US con mayores contenidos ($152.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$), -solo detrás del BE en Uruapan (162 Mg C ha^{-1})- y comprende más del 20% de la superficie subregional. En la sumatoria de los contenidos de las tres profundidades (0-30 cm) la Agricultura queda incluida en el mismo intervalo que los Bosques de Pino y de Encino pese a las diferencias de contenido registradas en la primera profundidad para esta clase, cuyas diferencias ya fueron

discutidas en la sección anterior y que están relacionadas a la densidad aparente de cada capa que homogeneiza el contenido de carbono.

En la Meseta son marcadas las asociaciones entre las clases de cobertura vegetal y uso del suelo incluidas en un mismo intervalo como Agricultura y Bosque de pino-encino con menores contenidos de C y Matorral-Bosque de pino con mayores contenidos de C en las 3 profundidades, aunque en la suma final (0-30 cm) la asociación AGR-BPE se pierde, quedando la Agricultura en el intervalo con menores contenidos de C en la subregión.

En Tancítaro los contenidos de C se mantuvieron relativamente homogéneos espacialmente debido a las asociaciones entre al menos seis clases de CV-US incluidas en el mismo intervalo de contenido (10-20 Mg C ha⁻¹) en la primera profundidad (0-5 cm). En la segunda profundidad (de 5 a 10 cm) fueron 9 las clases de CV-US asociadas en el mismo intervalo de contenido (10-25 Mg C ha⁻¹) y en la última profundidad la asociación se mantuvo en 8 clases de CV-US entre 35-50 Mg C ha⁻¹. En la suma final (0-30 cm) se mantuvieron las asociaciones entre 6 clases de CV-US en la subregión para el intervalo entre 80-110 Mg C ha⁻¹.

En Uruapan se mantuvo la agrupación entre coberturas vegetales "arbóreas" (BP, BPE, BVS y FRU) que se presentó en las concentraciones en los primeros 5 cm; la misma asociación se mantuvo de 5-15 cm incluyendo además a otras clases de CV-US como AGR y MAT totalizando más del 90% de la superficie de la subregión dentro del mismo intervalo de contenidos (10-25 Mg C ha⁻¹). En la última profundidad no se mantuvo la asociación entre clases de CV-US "arbóreas" y sus contenidos de C se distribuyeron en 4 intervalos.

En comparación con los resultados de este trabajo, el estudio de De Jong et al. (1999) realizado en la región central de Chiapas, con rangos altitudinales similares (1,500-2,900 m s.n.m.), muestra las siguientes características. En el estudio referido se identificaron 6 clases de CV-US: Bosques de encino-bosques perennifolios de niebla, Bosques de pino-encino, Bosques de Pino, Bosques degradados-fragmentados (Bosques con vegetación secundaria), Agricultura y Pastizales.

Las diferencias metodológicas tanto en el procedimiento de muestreo, como en el análisis de laboratorio impiden realizar una comparación directa entre los resultados de ambos trabajos, sin embargo se pueden establecer algunas relaciones entre los contenidos de carbono de las diversas clases de CV-US como se muestra en el siguiente cuadro.

Clase de CV-US	Contenido de carbono (Mg C/ha)			
	De Jong et al. 1999	% relativo	Este estudio, 2007	% relativo
Bosque de encino	242.8	100	128.2	100
Bosque de pino-encino	174.4	72	104.2	81
Bosque de pino	172.6	71	102.4	80
Bosque con vegetación Secundaria	184.2	75	70.6	55
Agricultura	153.3	63	92.7	72
Pastizales	124.8	51	81.9	64

Cuadro 35. Comparación de los contenidos de carbono por clase de CV-US en dos estudios: De Jong et al. (1999), este estudio (2007). El porcentaje relativo se calcula tomando a la clase de CV-US con el valor más alto (Bosque de encino) como el 100%

En ambos estudios, los bosques de encino resultaron la clase de CV-US con mayores contenidos de carbono en suelos, los suelos de los bosques de pino-encino y los bosques de pino quedaron en segundo y tercer lugar como depósitos de carbono.

Relativamente, los contenidos de carbono de los suelos de los bosques de las asociaciones de pino, representan en el estudio de Chiapas aproximadamente el 70% del contenido de este elemento en los bosques de encino, en tanto que en Michoacán dicha proporción alcanza el 80%. Tanto la agricultura como los pastizales presentan menores proporciones de carbono en suelo con respecto a los bosques de encinos, manteniendo una diferencia cercana a los 10 puntos porcentuales entre un estudio y otro.

La principal diferencia entre ambos estudios se ubica en los Bosques con Vegetación Secundaria. En el estudio de De Jong et al. (1999), esta clase presenta contenidos de carbono equivalentes al 75% de los del bosque de encino, mientras que para nuestro estudio, el BVS presenta un promedio correspondiente al 55% del contenido total del carbono en los bosques de encino. Estas diferencias pueden deberse a dos razones, la primera es la mencionada carencia de datos para el BVS en un par de subregiones en nuestro estudio y la segunda puede estar relacionada con los diferentes criterios para clasificar los bosques con vegetación secundaria. Los autores del estudio chiapaneco identifican al BVS como bosques degradados y fragmentados, que provienen de la combinación de varias clases como bosques abiertos, fragmentados y matorrales de acuerdo con los criterios de la SARH y bosque secundario, matorral secundario, plantaciones y agricultura temporal de INEGI (De Jong et al., 1999). Estas diferencias en los criterios de clasificación para la clase BVS dificultan aun más las comparaciones entre ambos estudios, los cuales emplearon diferentes métodos de muestreo y análisis; sin embargo resulta ilustrativo establecer algunas relaciones entre los resultados de este par de trabajos.

5.3 Cálculo del contenido total de carbono a nivel subregional y regional

5.3.1 ANÁLISIS SUBREGIONAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 0-5 CM

De acuerdo con los resultados, la subregión Meseta fue la que mostró los mayores contenidos de carbono en los primeros cinco centímetros del suelo, esto lógicamente obedece a que esta subregión es la de mayor tamaño; no obstante la relación superficie-contenido de carbono no parece ser proporcional, ya que Pátzcuaro con una extensión equivalente al 74% de Meseta tiene contenidos de carbono equivalentes al 94% de los de esta subregión. El caso de Uruapan es más marcado, ya que su superficie representa un 53% con respecto a la de la Meseta, sin embargo sus contenidos de carbono equivalen al 85% de los de la subregión Meseta.

Esto pudiera deberse al hecho de que la subregión Uruapan que se ubica a menor altitud que las otras, la temperatura es más cálida facilitando una mayor tasa de mineralización de la materia orgánica, incrementándose de esta manera la entrada de C al suelo.

Sin embargo los resultados entre las subregiones Uruapan y Meseta para esta profundidad no son comparables, ya que en Meseta no hay datos para los suelos de bosques con vegetación secundaria, que cubren el 28% de la superficie total, por lo que el cálculo del contenido en esta subregión está subestimado, este mismo caso aplica para Pátzcuaro, donde el área clasificada como "bosques con vegetación secundaria" representa el 22% del área subregional.

Tanto en Pátzcuaro, como en la Meseta, la Agricultura representa una clase de uso del suelo que contribuye de manera importante al contenido de carbono total (37.4 y 29.5%, respectivamente), en contraste con Tancítaro y Uruapan, donde esta clase aporta menos del 5% del contenido total de carbono subregional.

En Tancítaro destaca el papel que juegan los frutales, que cubren cerca del 31% de la subregión y contribuyen con cerca del 30% del contenido total de carbono en ella. En Uruapan ocurre una situación similar pero en menor proporción, allí los frutales abarcan aproximadamente el 12% de la superficie y en términos de contenido total de carbono. En Uruapan, los bosques de pino, y pino-encino, que representan el 40% de la superficie subregional, aportan cerca del 50% del carbono total; las llamadas "asociaciones arbóreas", conformada por los bosques de pino, pino-encino, encino y vegetación secundaria y los frutales representan el 95% del contenido total de carbono en la subregión. Para poder realizar una comparación adecuada entre las cuatro subregiones se requiere conocer las concentraciones y los contenidos de carbono de los bosques de vegetación secundaria en las subregiones de Pátzcuaro y Meseta, donde se carece de esos datos.

5.3.2 ANÁLISIS SUBREGIONAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 0-30 CM

Al calcular el contenido total de carbono en los primeros 30 cm de suelo, se encontró que Pátzcuaro es la subregión con valores más altos, pese a no contar con datos para los bosques con vegetación secundaria, cuya importancia ha sido resaltada reiteradamente a lo largo de este trabajo.

Para atenuar esta carencia de datos se realizó una estimación de los contenidos de carbono a nivel subregional en los primeros 30 cm utilizando como referencia los valores de los BVS de las otras dos subregiones: Tancítaro y Uruapan. Si bien se trata de una estimación, la inclusión de este dato nos permite conjeturar con cierto grado de precisión que los contenidos de carbono en las subregiones de Meseta y Pátzcuaro son similares y que los cálculos están subestimados al omitir esta importante clase de CV-US.

La Meseta es la región donde la estimación del contenido de carbono del bosque de vegetación secundaria (BVS) tiene un mayor efecto, ya que esta clase representa una cuarta parte del contenido total de carbono estimado para la subregión, la importancia de esta clase de CV-US se debe a que es la segunda en tamaño después de la agricultura. En Pátzcuaro, donde los contenidos de carbono se distribuyen en un mayor número de clases de CV-US, la estimación del contenido de carbono en BVS apenas rebasa el 15%, esto debido a que la concentración estimada (70.6 Mg C/ha) es la menor de todas para la subregión. Es indudable que los Bosques con Vegetación Secundaria representan un importante depósito de carbono en los suelos que es necesario calcular para poder cuantificar adecuadamente su contribución al total del carbono almacenado en los suelos de las subregiones faltantes.

En Tancítaro se observa una correspondencia relativa entre las superficies de las clases de CV-US y los contenidos de carbono totales calculados para ellas; así mientras el bosque de pino y pino-encino comprenden el 16 y 15% de la superficie total de la subregión, en términos de carbono cada uno de ellos representa un 16% del contenido total de este elemento. De manera similar los frutales, que abarcan el 31% del área subregional, contienen poco más del 32% del contenido total de carbono.

En Uruapan se puede decir que las superficies arboladas -donde se incluyen todas las clases de bosques y los frutales- que representan más del 80% de la superficie total de la subregión, tienden a proteger más el carbono de los suelos.

La cobertura vegetal ofrece una protección al suelo ya que impide la acción directa del intemperismo, retardando el efecto de los procesos de erosión. En las clases de uso del suelo arboladas hay una mayor acumulación de carbono en la biomasa aérea, existe además una mayor producción de mantillo que incrementa el flujo de entrada de carbono hacia los suelos y las tasas de descomposición de la materia orgánica, favoreciendo la circulación de este elemento a través del suelo y la vegetación. La reforestación tanto en Pátzcuaro, como en Tancítaro, obtuvieron valores importantes de contenido de C, sin embargo al ser una práctica poco extendida, esta clase de CV-US, no mostró su potencial como depósito de este elemento químico.

5.3.3 ANÁLISIS REGIONAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 0-5 CM

En los cálculos de contenidos de carbono a nivel regional para la primera profundidad (0-5 cm), destacan los siguientes aspectos:

a) Los bosques de pino-encino y pino presentan los valores más altos para toda la región, estos valores son además muy similares, porque ambas clases de cobertura vegetal cuentan con contenidos de carbono y extensiones territoriales semejantes a nivel subregional; esto también destaca la importancia de los suelos de las áreas forestales como almacenes de carbono como se ha mencionado anteriormente.

b) La agricultura es la segunda clase de CV-US más extendida en la región (23% del área total), su contribución al contenido regional de carbono (2,141 Gg = 20%) para esta profundidad es relativamente proporcional a la superficie que ocupa.

c) Los bosques con vegetación secundaria son la clase de CV-US con mayor superficie a nivel regional (26% del área total), sin embargo no se cuenta con datos para poco más de 92 mil ha. (61%), lo que implica que el contenido total de carbono en la región está subestimado.

5.3.4 ANÁLISIS REGIONAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 0-30 CM

En los cálculos y estimaciones de los contenidos de carbono en los primeros 30 cm. de los suelos a nivel regional, resaltan los siguientes puntos:

a) La agricultura, es la clase de CV-US que presenta los mayores contenidos de carbono a nivel regional (30% del C total), esto puede atribuirse a la extensión territorial de esta clase que ocupa un 23% del área total; sin embargo los contenidos de carbono no se distribuyen de manera homogénea entre los primeros 30 cm del suelo, ya que en los primeros 5 cm, la agricultura contribuye con solo el 20% de los contenidos totales de carbono a nivel regional, una posible explicación para ello sería que el carbono más profundo es remanente de las coberturas vegetales existentes antes de la transformación de la cubierta vegetal original para dar lugar al uso agrícola y la influencia de la variabilidad edáfica del área de estudio.

b) Los bosques de pino-encino y pino continúan presentando contenidos similares entre sí, aunque su contribución al contenido regional de carbono es menor con respecto a la agricultura y a la primera profundidad, se puede concluir al igual que en el caso anterior que estos resultados muestran la importancia de los suelos de las áreas forestales como protectores de los almacenes de carbono, pese a no ser de las clases de CV-US más extensas.

c) Por último, la estimación realizada para obtener un valor de contenido de carbono en los bosques de vegetación secundaria nos muestra que los suelos de esta clase de CV-US juegan un importante papel como reservorios de carbono; si consideramos como válida la estimación realizada podemos afirmar que el carbono orgánico de los suelos de los BVS representa un 22% del total.

Se esperaba que por su extensión, el Bosque de Vegetación Secundaria fuera la clase de CV-US con la mayor contribución de carbono a nivel regional. Los valores calculados refuerzan la necesidad de profundizar en el estudio de esta clase de CV-US, ya que además del problema comentado surgen otras interrogantes como: ¿Qué es un bosque con vegetación secundaria?, ¿En qué grado de sucesión ecológica se encuentra? ¿Cuál es su historia de uso de suelo? El tipo y los estados sucesionales de los ecosistemas tienen implicaciones profundas en las interacciones biosfera-atmósfera y en los flujos biogeoquímicos a nivel regional. Este estudio solo refleja una visión momentánea de estos procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aber, J. y J. Melillo. 1991. *Terrestrial Ecosystems*. Saunders College Publishing. Estados Unidos. 556 p.
- Alcalá, M., C. Ortiz y M. C. Gutiérrez. 2001. Clasificación de los suelos de la meseta tarasca, Michoacán. *Terra Latinoamericana* 19(3):227-239.
- Baker, T. T., B. Graeme, W. Conner, C. Meier, J. Stanturf y M. Burke. 2001. Leaf Litter Decomposition and Nutrient Dynamics in Four Southern Forested Floodplain Communities. *Soil Science Society of America Journal* 65:1334-1347.
- Binkley, D. 1993. *Nutrición forestal. Prácticas de manejo*. Limusa, México. 340 p.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 44:18-38.
- Bolin, B. y R. Sukumar, 2000. Global Perspective. En Watson, R.T. y colaboradores (eds.) *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry*. P. 23-51.
- Burroughs, W. J. 2001. *Climate Change: A Multidisciplinary Approach*. Cambridge University Press. Reino Unido. 314 p.
- Caballero, J., N. Barrera, y C. Mapes. 1992. "La Vegetación Terrestre". En *Plan Pátzcuaro 2000*. 1a Ed., pp 71-90. México, D.F.
- Cano, Z. 2002. ¿Cómo escribir una tesis?. *Ciencias* 65:67-75.
- Caro, R. 1987. "Caracterización de la Industria Maderable en el Área de Influencia de la UAF 6: Meseta Tarasca". Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 187 p.
- Chapin, F. S., H. A. Mooney, M. C. Chapin y P. Matson. 2002. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer. Estados Unidos. 456 p.
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán. 2001. *Atlas Forestal del Estado de Michoacán*. COFOM. Morelia, Michoacán, México. 97 p.
- Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático. 2001. Segunda comunicación nacional de México sobre cambio climático. Resumen ejecutivo. *Gaceta Ecológica* 60:37-49.
- Cruz, M. Inédito. *El Bosque Mesófilo de Montaña de la Región Purépecha, Michoacán: Uso y Estado Actual de la Vegetación*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.

De Jong, B.H.J., M. Cairns, P. Haggerty, N. Ramirez-Marcial, S. Ochoa-Gaona, J. Mendoza-Vega, I. González-Espinosa y I. March-Mifsut. 1999. Land-Use Change and Carbon Flux Between 1970s and 1990s in Central Highlands of Chiapas, Mexico. *Environmental Management* 23(3):373-385.

Falkowski, P. et al. 2000. The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System. *Science*. Vol. 290 No. 5490:291-296.

FAO. 2001. Situación de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 175 pp.

FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 96. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 61 páginas.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México, D.F. 3ª ed. Versión digital.

García-Oliva, F. y O. Maser. 2004. Assessment and Measurement Issues Related to Soil Carbon Sequestration in Land-Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF) Projects under the Kyoto Protocol. *Earth and Environmental Science* 65(3):347-364.

Guo, L. B. y R. M. Gifford. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8(4):345-360.

Holmén, K. 2000. The Global Carbon Cycle. En Jacobson, M. y colaboradores. *Earth System Science From Biogeochemical Cycles to Global Changes*. Academic Press. Estados Unidos. 527 pp.

Houghton, R. A. 1994. The Worldwide Extent of Land-Use Change. *BioScience*, Vol. 44, No. 5. pp. 305-313.

Houghton, R. A. 1999. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990. *Tellus. Series B, Chemical and physical meteorology* 51, 298-313.

INEGI. 1985. Síntesis geográfica del Estado de Michoacán. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 314 páginas.

INEGI. 1997. La producción forestal en la meseta purépecha en el estado de Michoacán. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 59 páginas.

IPCC. 2001a. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. Summary for Policymakers. Cambridge University Press. Reino Unido. 20 pp. Disponible en World Wide Web: <http://groupsites.ius.edu/physics/~kyle/P310/IPCCSum2001.PDF>

IPCC. 2001b. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Panel Intergubernamental para el Cambio Climático.

- Jaramillo, V. J. 1994. El cambio global: interacciones de la biota y la atmósfera. *Ciencias* 35:4-14.
- Jenny, H. 1980. *The soil resource. Origin and behaviour*. Springer-Verlag. Estados Unidos. 377 pp.
- Kohlmaier, G. H., Weber, M., & Houghton, R. A. (1998). *Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry*. Berlin: Springer. 412 pp.
- Lal, R. 2003. Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22(2):151-184.
- Lambin, E. F. y colaboradores. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11 (2001):261–269.
- Lugo, A. E. y S. Brown. 1993. Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. *Plant and Soil* 149(1):27-41.
- Madrigal-Sánchez, X. 1982. *Claves para la Identificación de las Coníferas Silvestres del Estado de Michoacán*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 100 pp.
- Masera, O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forests: methodological considerations and results. *Interciencia* 20(6):388-395.
- Masera, O., M. J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: Current situation and long-term scenarios. *Climatic change* 35 (3): 265-295.
- Masera, O., D. Masera y J. Navia. 1998. *Dinámica y uso de los recursos forestales de la región Purépecha: El papel de las pequeñas empresas artesanales*. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada.
- Murty, D., M. Kirschbaum, R. Mcmurtrie y H. MCGILVray. 2002. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global Change Biology* 8(2):105-123.
- Noble, I. y colaboradores. *Implications of Different Definitions and Generic Issues*. En Watson, R.T. y colaboradores (eds.) *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry*. P. 53-126.
- Oliva, M. y F. García-Oliva. 1998. Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global. *Educación Química* 9(3):136-142.
- Ordoñez, J. A. B. y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1):3-12.

Ordóñez, J. A. B. 2002. Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la Región Purépecha, Michoacán, México. Documento que para obtener la Candidatura a doctor en Ciencias Biomédicas presenta; Programa Doctoral en Ciencias Biomédicas, Instituto de Ecología, UNAM. México.

Parfitt, R. L., H. J. Percival, R. A. Dahlgren y L. F. Hill. 1997. Soil and solution chemistry under pasture and radiata pine in New Zealand. *Plant and Soil* 191:270-290.

Post, W. M. y K. C. Kwon. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* 6(3): 317-327.

Schlesinger, W. H. 1991. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Academic Press. Estados Unidos. 443 pp.

Scott, N., and D. Binkley. 1997. Litter quality and annual net N mineralization: Comparisons across sites and species. *Oecologia* 111(2):151-159.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*, México, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre-SARH.

Semarnat. 2006. Cambio climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto. Delegación Federal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el estado de Sinaloa. Disponible en World Wide Web: <http://www.semarnat.gob.mx/sinaloa/mecanismos.shtml> (Verificado el 15 de octubre de 2006).

Stevenson, F. J. y M. A. Cole. 1999. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. Wiley & Sons. Estados Unidos. 448 pp.

Tate, R. L. 1992. *Soil Organic Matter: Biological and Ecological Effects*. Krieger Publishing Company. Estados Unidos. 304 pp.

UNFCCC. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Organización de las Naciones Unidas. Disponible en World Wide Web: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> (Verificado el 15 de octubre de 2006).

Velázquez, A. y colaboradores. 2001. El inventario forestal nacional 2000. *Ciencias* 64:13-19.

Waring, R. H. y S. W. Running. 1998. *Forest Ecosystems: Analysis At Multiple Scales*. Academic Press. Estados Unidos. 370 pp.

Watson, R. T. y colaboradores. 2000. *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry*. Cambridge University Press. 377 pp.

White, R. E. 1997. *Principles and practice of soil science*. Blackwell Science Ltd. Reino Unido. 348 pp.