



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"CUAUTILÁN"

**"ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN
MANTILLO DE DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA
VEGETAL Y USO DEL SUELO EN LA REGIÓN
PURÉPECHA, MICHOACÁN, MÉXICO".**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

JOSÉ VENTURA PÉREZ CAMARGO

Asesores de Tesis:

Ing. Adolfo José Manuel Ochoa Ibarra.

Biólogo: José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz.

Cuautitlán, Izcalli, Estado de México.

2006.



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.

"Si queremos sobrevivir en el ámbito infinito de nuestra Tierra, tendremos que adquirir un nuevo respeto hacia la naturaleza. Dejar de tratarla como mejor objeto de explotación y disfrute para recuperarla como nuestra cotidiana morada, con la que debemos convivir, a la que habremos de cuidar".

Luis Villoro, en Variables para el futuro.

ESTA INVESTIGACIÓN ESTÁ DIRIGIDA A,

TODOS MIS SERES QUERIDOS

A MIS HIJOS:

ÁNGELES YURÍTZKIRI Y ULISES.

A MIS PADRES:

FEDERICO PÉREZ RUBIO +

SOFÍA CAMARGO MEDINA +

A MIS HERMANOS:

JOSEFINA, ELEAZAR, TERESA Y GUADALUPE.

A TODA LA HUMANIDAD EN GENERAL,

ESPERANDO QUE NUESTRO HÁBITAT SE CONSERVE.

AGRADEZCO A TODOS AQUELLOS QUE

ME HAN BRINDADO SU APOYO:

FAMILIARES,

AMIGOS Y COMPAÑEROS EN ESTA INVESTIGACIÓN.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco al C a Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz, por su apoyo y dirección del presente trabajo, ya que se interesó desde el primer momento en llegar hasta el final y así fue; por su humanismo, profesionalismo y por su amistad.

Al Ing. Adolfo José Manuel Ochoa Ibarra quien tan amablemente aceptó el otorgarme su valiosa asesoría para la presente investigación.

Al Dr. Omar Masera Cerutti, por su apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Felipe García Oliva por compartir en esta investigación todos sus conocimientos y experiencia en el tema, dando claridad y lucidez en los objetivos del presente, por su amistad y su apoyo.

A Francisco Luis Aviña Cervantes, por haber compartido palmo a palmo el trabajo de campo y que en cada momento compartimos experiencias, a veces alegres y en ocasiones desagradables, pero siempre continuando el trabajo.

A Pablo Fragoso, Juan Zamora y René Martínez, por su apoyo en el proceso de muestreo de mantillo en campo.

A Raúl Ahedo que amablemente y desde un inicio me orientó y facilitó literatura específica del tema y me brindó asesoría en el manejo del equipo de laboratorio.

A Gabriela Guerrero Pacheco, que en todo momento me auxilió en la generación de mapas y trabajo con sistema de información geográfica.

A Erika Tapia Medina, por su ayuda en campo, preparación de materiales y comentarios al presente documento.

A Maribel Nava, del laboratorio de cuencas, que amablemente y siempre con gran profesionalismo, procesó todo el grupo de muestras de mantillo obtenidas en esta investigación.

A Heberto Ferreira y Miguel Espejel, por el apoyo brindado, en el área de cómputo académico.

A esta gran institución (UNAM), que desde el bachillerato me formó como profesionista.

A todos mis queridos maestros, pues cada uno de ellos me dio parte de su ser y su experiencia.

A todos mis amigos y excompañeros de estudio.

Este estudio fue financiado por el CONACYT Proyecto 32715-N.

Resumen

Como consecuencia del aumento en las concentraciones de carbono en la atmósfera y su repercusión en el cambio climático global, se han establecido líneas de investigación dedicadas a determinar la cantidad de carbono almacenado en ecosistemas; de ellos, los bosques templados, presentan un gran potencial de captura de carbono en sus diferentes almacenes (biomasa aérea, suelo y mantillo). El presente estudio titulado “Estimación del contenido de carbono en mantillo de diferentes tipos de cobertura vegetal y uso del suelo en la Región Purépecha, Michoacán, México”, se desarrolla como una contribución para el entendimiento y la solución de este problema y como parte del proyecto CONACYT 32715-N titulado “Dinámica de emisiones de carbono a nivel regional, en un ecosistema templado del centro de México”; que es a su vez el proyecto doctoral del candidato a Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz y que tiene como objetivo general estimar el carbono contenido en tres diferentes almacenes (biomasa aérea, suelo y mantillo), y su relación con la dinámica de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo.

En este estudio, se estimó el contenido de carbono en el mantillo de 10 diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo; para lo cual se muestrearon un total de 283 sitios y se tomaron 5,680 muestras mismas que fueron secadas y procesadas y posteriormente se sistematizó la información generada en una hoja de cálculo en el programa Excel, y de su posterior integración y análisis se obtuvieron valores de contenido de carbono promedio que va de 0.5 a 4.1 MgCha⁻¹; la clase de agricultura, presentó el contenido más bajo con un promedio de 0.5 MgCha⁻¹ y los bosques de pino 3 MgCha⁻¹ y bosque de pino-encino un valor promedio de 3.4 MgCha⁻¹; el bosque de oyamel, presentó el valor más alto con un promedio de 4.1 MgCha⁻¹, debido al estado de conservación del mismo.

En el proyecto general participan además: la Biol. Gabriela Guerrero Pacheco, técnico: encargada del procesamiento y análisis de las imágenes de satélite para el periodo de estudio 1986-2000; Francisco Luis Aviña Cervantes, tesista de nivel licenciatura encargado de estimar el carbono contenido en suelo; José Luis Navarrete Negrón que determina el contenido de carbono en materia leñosa muerta, el que suscribe, que realizó la estimación del contenido de carbono en mantillo y por último el C a Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz que se encarga de la integración de toda la información generada para desarrollar su tesis doctoral.

Índice

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | <i>INTRODUCCIÓN</i> | 7 |
| 2. | <i>OBJETIVOS</i> | 9 |
| 3. | <i>ANTECEDENTES</i> | 10 |
| 3.1. | LOS BOSQUES Y EL CICLO DEL CARBONO | 10 |
| 3.2. | EL CARBONO | 10 |
| 3.3. | EL CARBONO EN ECOSISTEMAS FORESTALES | 11 |
| 3.5. | EL MANTILLO | 14 |
| 3.6. | ACUMULACIÓN DEL MANTILLO | 16 |
| 3.7. | GÉNESIS DEL MANTILLO | 18 |
| 3.8. | VARIACIÓN TEMPORAL DEL MANTILLO | 19 |
| 3.9. | DESCOMPOSICIÓN DEL MANTILLO | 20 |
| 3.10. | FACTORES QUE DETERMINAN LA TASA DE DESCOMPOSICIÓN DEL MANTILLO | 21 |
| 3.11. | POR LA NATURALEZA DE LA COMUNIDAD DEGRADADORA | 22 |
| 3.12. | POR LAS CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE LOS COMPONENTES DEL MANTILLO | 23 |
| 3.13. | POR LOS FACTORES FÍSICOS DEL MEDIO | 24 |
| 4. | <i>ÁREA DE ESTUDIO</i> | 25 |
| 5. | <i>METODOLOGÍA</i> | 28 |
| 5.1. | SUB-REGIONALIZACIÓN | 28 |
| 5.2. | DETERMINACIÓN DE LAS CLASES DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO | 29 |
| 5.3. | ESTRATEGIA DE MUESTREO EN CAMPO | 30 |
| 5.4. | DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO PARA LAS PRINCIPALES CLASES DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO | 33 |
| 5.5. | CARBONO EN EL MANTILLO | 33 |
| 5.6. | MUESTREO | 34 |
| 5.6.1. | MATERIALES | 34 |
| 5.6.2. | MÉTODOS | 34 |
| 5.7. | PROCESAMIENTO DE MUESTRAS | 35 |
| 5.8. | ANÁLISIS DE DATOS | 36 |
| 6. | <i>RESULTADOS</i> | 37 |
| 7. | <i>DISCUSIÓN</i> | 42 |
| 8. | <i>CONCLUSIÓN</i> | 44 |
| 9. | <i>REFERENCIAS</i> | 48 |

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo y forestería (consecuencia directa de la deforestación y degradación forestal), están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO_2 ; uno de los GEI más importantes por las grandes cantidades en las que se emite), metano (CH_4), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y clorofluorocarbonados (CFC's), principalmente (Ordóñez, 1999).

El rápido aumento en las concentraciones de GEI provocan un fenómeno llamado cambio climático global, que da origen al aumento en la temperatura de la atmósfera a nivel planetario (Ordóñez, 1999).

En particular, las actividades antrópicas como el cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo, promueven la disminución de los almacenes de carbono (C) contenido en los ecosistemas, tanto en biomasa aérea, mantillo, raíces y suelo. Existen, sin embargo, grandes interrogantes, tanto en la cantidad específica almacenada de C, como en la dinámica de pérdida del mismo C en estos ecosistemas; en la Figura 1 se presenta un diagrama simplificado de las fuentes y sumideros de carbono donde se aprecian los ciclos existentes (Ordóñez, 1999).

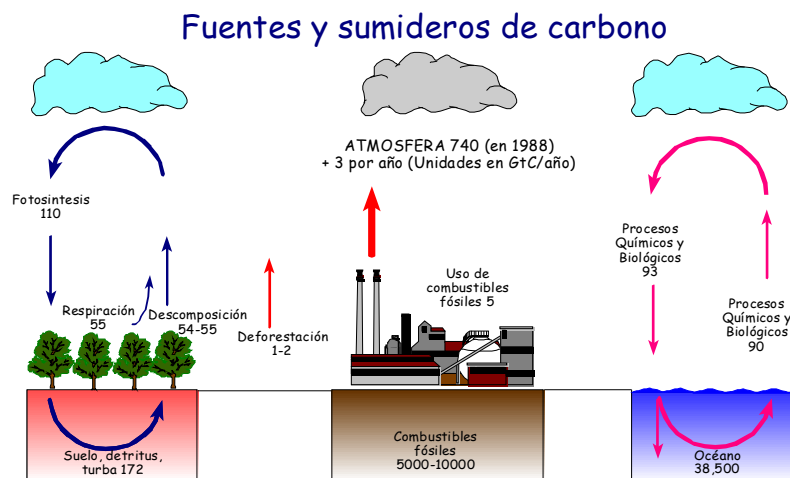


Figura 1. Fuentes y sumideros de carbono (Ordóñez, 1999) expresada en PgC .

En nuestro país, la pérdida de las superficies forestales y el cambio de uso del suelo (CUS), ocupan el segundo lugar en emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 1995; Gay y Martínez, 1995). Las emisiones por deforestación alcanzan el 30% del total de las emisiones a nivel país, producto de la pérdida de más de 600 mil hectáreas anuales de bosques (Gobierno de México, 1997).

Como consecuencia del aumento en las concentraciones de carbono en la atmósfera y su repercusión en el cambio climático global, se han establecido líneas de investigación dedicadas a determinar la cantidad de carbono almacenado en los ecosistemas, de ellos, los bosques templados presentan un gran potencial de captura de carbono en sus diferentes almacenes (biomasa aérea, suelo y mantillo).

El presente estudio se desarrolla como una contribución para el entendimiento y la solución de este problema y como parte del proyecto CONACYT 32715-N, titulado: "Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la Región Purépecha", que tiene como objetivo general estimar el contenido de carbono en tres diferentes almacenes (biomasa aérea, suelo y mantillo), y su relación con la dinámica de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo.

2. OBJETIVOS

Objetivo general:

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

Objetivos particulares:

- Cuantificar la cantidad de masa y biomasa del mantillo, en los diferentes tipos de cobertura vegetal y uso del suelo de la región Purépecha.
- Cuantificar la concentración de Carbono del mantillo.
- Estimar el contenido de Carbono del mantillo.

3. ANTECEDENTES

3.1. Los bosques y el ciclo del carbono.

Bocco *et al.* (2001) mencionan que en los años 70's el 60% de la cobertura vegetal del Estado de Michoacán correspondía a los bosques templados y a las selvas bajas caducifolias y que ambas se redujeron en un 13% para 1993; es decir, que 513,644 hectáreas de bosques y 308,292 hectáreas de selva se perdieron en un periodo de 23 años. En el mismo documento se señala que los bosques presentan una tasa de deforestación de 1.8% anual y las selvas de 1% anual (Ordóñez, 2002).

Michoacán es uno de los Estados de la República Mexicana que cuenta con bosques templados, en especial dentro de la Meseta Purépecha que tiene una población aproximada de 600,000 habitantes y una superficie de 574 mil hectáreas.

Los bosques almacenan una gran cantidad de carbono tanto en la vegetación como en los suelos, y tienen un papel muy activo en el intercambio de dióxido de carbono entre la biosfera y la atmósfera, por lo que juegan un papel clave en el ciclo global del carbono (Ordóñez, 2000).

3.2. El Carbono.

En la naturaleza el carbono se halla por doquier; en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos, están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren (Ordóñez, 1998).

Se estima que aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye el carbono; por lo que es considerado como uno de los elementos más importantes de la vida (Smith *et al.*, 1993).

El ciclo del carbono, comienza con la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea a la atmósfera.

Existen tres procesos fundamentales de intercambio de C entre la vegetación y el suelo, con la atmósfera: a) la fotosíntesis, mediante la cual el CO₂ atmosférico es convertido en carbohidratos y "capturado" en los ecosistemas forestales; b) la respiración y oxidación (incluyendo los procesos de descomposición) y; c) quema de los bosques, mediante los cuales se libera CO₂ a la atmósfera. Dependiendo de qué proceso domine, los bosques serán "sumideros" netos o fuentes netas de CO₂ (Jaramillo, 1992).

3.3. *El Carbono en los ecosistemas forestales*

El CO₂ atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis. Este C participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que la planta pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer la planta, se incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa, así como su altura y el grosor de su tronco). La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, lo que da lugar a que las copas de los árboles compitan por la luz. Esto origina, a su vez, un dosel. Los componentes de la copa aportan materia orgánica (hojarasca, ramas, frutos, entre otras) al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable, durante estos procesos, se aporta nuevamente CO₂ al entorno (Ordóñez, 1999).

Simultáneamente, los troncos de los árboles al ir aumentando su diámetro y altura alcanzarán un tamaño aprovechable en términos comerciales, pudiéndose extraer productos como tablas, tablones y polines, entre otros, que pueden dar origen a subproductos elaborados, como muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan, aportando CO_2 al suelo y/o a la atmósfera (Ordóñez, 1999).

Durante el tiempo en que el C se encuentra como tal, constituyendo alguna estructura del árbol —y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera—, se considera almacenado (Figura 2). En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) el CO_2 fluye para regresar al ciclo del carbono (Ordóñez, 1999).

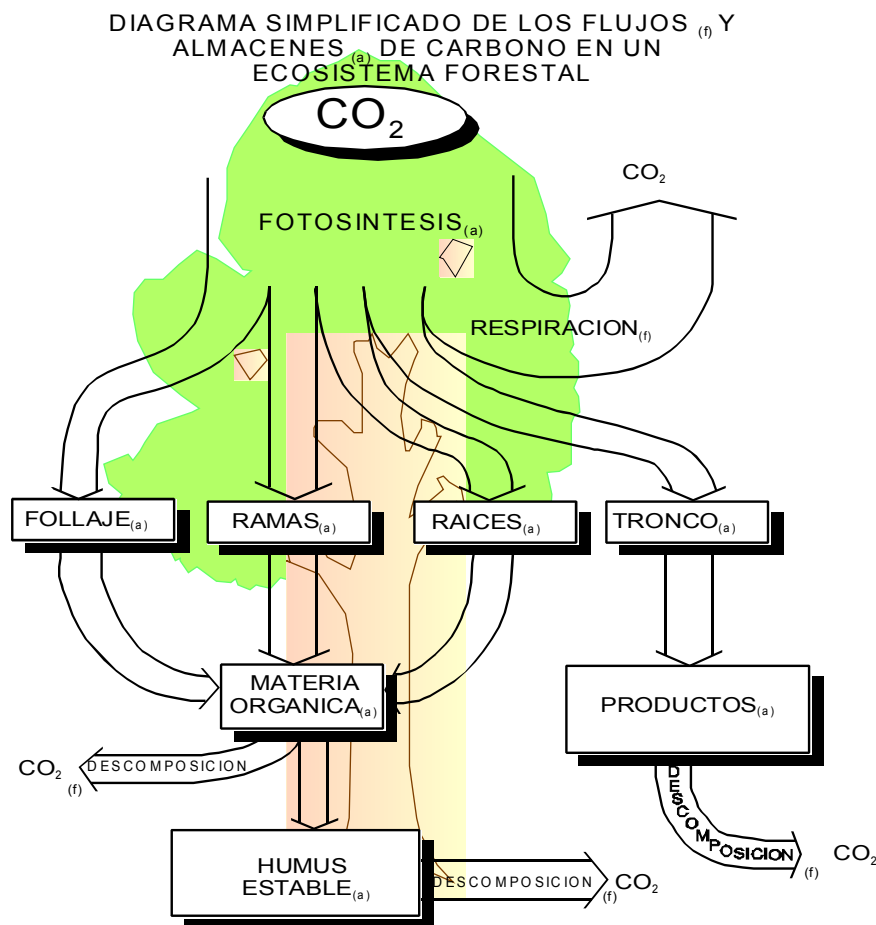


Figura 2. Flujos de CO_2 y almacenes de carbono en un ecosistema forestal (Ordóñez, 1999).

3.4. La Biomasa

Definiciones:

- Conjunto de materia orgánica que conforma un ecosistema presente en los organismos vivos o muertos o segregados por ellos, pero en ningún caso fósil (García, 1984).
- Suma total de materia orgánica viva de las plantas fotosintéticamente activas en una unidad de área, dada tanto arriba como abajo del nivel del suelo (Garcidueñas, 1987).
- Se refiere a toda la materia orgánica generada por los procesos biológicos de los cinco reinos: vegetal, animal, hongos, protista y monera (Encarta, 2000).
- Sus principales características físicas y químicas son función directa de las condiciones ambientales en las que se desarrolla, se considera que la biomasa es renovable porque forma parte del flujo natural y repetitivo en los procesos en la naturaleza, esta característica que se logra mediante el aprovechamiento de la luz solar por las plantas a través de la fotosíntesis. La biomasa es un elemento indispensable para mantener el equilibrio ecológico, el cual permite, conservar y enriquecer la diversidad biológica y el suelo (Díaz, 2000).
- En los ecosistemas forestales, los principales componentes de la biomasa vegetal son: fustes de los árboles, ramas, corteza, follaje, estructuras reproductivas y raíces; generalmente se expresa en términos de peso fresco, seco, o de peso seco libre de cenizas (peso orgánico), siendo lo más común referirla en peso seco (Garcidueñas, 1987).

- La producción de biomasa está influenciada por diversos factores tales como: clima, especie, edad, calidad de sitio, fertilización, posición sobre la pendiente, elevación, exposición, densidad del rodal, sistema silvícola aplicado, región geográfica, variación genética, año de muestreo, contaminación atmosférica y cambios estacionales, entre otros (Garcidueñas, 1987).

3.5. *El Mantillo*

Definiciones:

- Capa de hojarasca localizada en la superficie del suelo de las comunidades vegetales formadas por gran variedad de residuos vegetales y animales. El mantillo alberga una gran variedad de organismos (microflora, micro-fauna, mesofauna y macro-fauna del suelo) que llevan a cabo alteraciones físicas y químicas de los residuos orgánicos, modificando así su calidad y abundancia (Patiño, 1990).
- Hojarasca depositada sobre la superficie del suelo, denominada mantillo, representa uno de los grandes depósitos de nutrientes y energía dentro del ecosistema. El mantillo está sujeto a un proceso dinámico de descomposición que determina su tasa de recambio y acumulación. Por este proceso, los nutrientes en el mantillo se hacen disponibles para el crecimiento de las plantas, constituyéndose en una ruta importante del reciclaje de nutrientes en el ecosistema (Vitousek, 1982).
- El mantillo, por su proceso de descomposición natural, puede formar humus, al inicio de la descomposición, parte del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno se disipa o mineraliza, forma agua, dióxido de carbono, metano y amoníaco, pero los demás componentes se descomponen lentamente y permanecen en forma de humus. El humus es un material

homogéneo, amorfo de color oscuro. La descomposición química del humus depende de la acción de los organismos vivos del suelo como bacterias, protozoos, hongos y ciertos tipos de escarabajos, pero casi siempre contiene cantidades variables de proteínas y ciertos ácidos combinados con lignina y sus derivados (Encarta. 2000).

- Este humus, según Pastrana (2003), al paso del tiempo se integra al suelo superficial donde se acumula para estructurar al suelo derivándose en distintos tipos del mismo y que se pueden diferenciar por sus características biológicas los cuales pueden ser:

Suelos *mull*, o de humus elaborado. Tienen una actividad biológica intensa, sobre todo de la fauna y microorganismos que se alojan en el suelo y descomponen rápidamente la materia orgánica del mismo. Se aparecen en las regiones de temperatura elevada y de humedad mediana. El suelo generalmente está bien aireado. La roca madre suele ser calcifica y la vegetación rica en nitrógeno.

Suelos *mor*, o de humus bruto. Son suelos biológicamente poco activos. La vegetación tiende a ser acidificante, pobre en nitrógeno, y la roca madre se intemperiza. La lentitud de los procesos de descomposición favorece que se forme un mantillo de materia orgánica parcialmente descompuesta.

Suelos *moder*, con un tipo de humus intermedio entre el mull y el mor. En realidad se trata de la degradación desde el bosque caducifolio a la pradera alpina.

- El mantillo constituye uno de los principales sitios de almacenamiento de carbono y de elementos minerales en el suelo de algunos ecosistemas (Vogt *et al.*, 1987).

3.6. Acumulación del mantillo

Para conocer la acumulación de C en el mantillo y su comportamiento, describiremos primero de donde procede y esto se remite a conocer el Flujo de Energía (Expuesto por Patiño, 1990).

Procedimiento expuesto por Patiño, 1990:

La productividad primaria bruta (PPB) es la cantidad total de energía solar fijada por las plantas a través de la fotosíntesis por unidad de área y tiempo. Una parte significativa de la energía fijada (aprox. 60%) se invierte en la respiración de las plantas y el resto se constituye en nueva biomasa. La tasa a la cual se produce esta nueva biomasa se denomina producción primaria neta (PPN) (Barbour *et al.*, 1980; Medina y Klinge, 1983; Ehrlich y Rougharden, 1987).

La producción neta del ecosistema (PNE) se define como el incremento anual total en materia orgánica vegetal y animal. En una comunidad en estado sucesional, del 30 al 60% de la productividad primaria neta puede acumularse de un año a otro como productividad neta del ecosistema. En las comunidades maduras, en cambio, la productividad primaria neta está balanceada con la muerte y la pérdida de tejidos e individuos, de tal forma que la productividad neta del ecosistema es igual o cercana a cero, es decir, no hay incremento ni decremento en biomasa en el tiempo (Lieth y Whittaker, 1975). Bajo estas condiciones, gran parte de la productividad primaria neta llega al suelo en forma de hojarasca. Por ejemplo, Seastedt y Crossley (1988) afirman que cerca del 95% de la PPN se transfiere directamente al suelo como residuos vegetales en una asociación de robles de Carolina del Norte (EUA). Otra fracción es consumida por animales herbívoros que se alimentan de savia, hojas, tallos o raíces, de manera que estas pérdidas deben tomarse en cuenta en las estimaciones de la productividad neta, así como también las pérdidas por muerte de ramas, troncos, raíces e individuos en pie (Swift *et al.*, 1979; citados por Patiño, 1990).

La producción de hojarasca proviene de la productividad promedio neta del ecosistema. Tanto los residuos vegetales que son transferidos de las partes aéreas a la superficie del suelo del ecosistema, como los residuos de los organismos heterótrofos que se alimentan de ellos entran en un proceso de descomposición que libera los elementos minerales necesarios para que la productividad se mantenga (Swift *et al.*, 1979; Seastedt y Crossley, 1962; citado por Patiño, 1990).

La descomposición de la materia orgánica da origen a dos procesos: la mineralización y la formación de materia orgánica en el suelo. Por medio de la mineralización, las plantas cuentan con nutrientes en forma disponible. Los residuos de la descomposición contribuyen a la formación y acumulación de materia orgánica en el suelo en forma de humus. Estos residuos vegetales son formados por la acción de los organismos degradadores que fraccionan el material vegetal (Swift *et al.*, 1979; citado por Patiño, 1990).

La Materia Orgánica que yace sobre la superficie del suelo (Figura 3) actúa como un almacén de nutrientes y de energía en donde existe un reciclaje de elementos minerales y energía (Babbar y Ewel, 1989; tomado de Patiño, 1990).

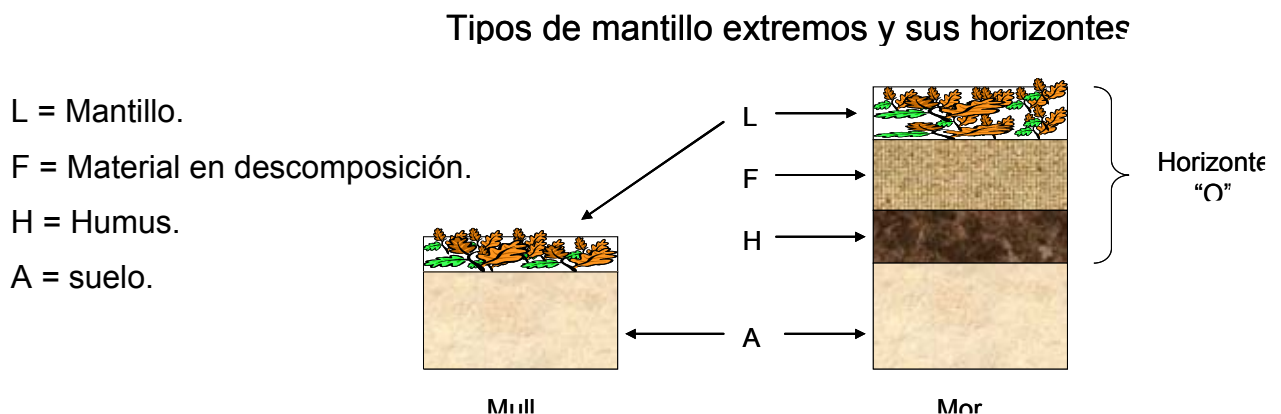


Figura 3. Tipos de mantillo en suelos (Diseño de figura Carlos Anaya, 2002).

Algunos autores han reconocido recientemente, que el mantillo puede afectar la organización y estructura de las comunidades vegetales por su efecto en la germinación de semillas, la sobrevivencia de las plántulas y el desarrollo de retoños vegetativos (Patiño, 1990).

El mantillo es la hojarasca depositada sobre la superficie del suelo, este representa uno de los grandes depósitos de nutrientes y energía dentro del sistema (Vitousek, 1982). La cantidad y naturaleza del mantillo son importantes en la formación y fertilidad del suelo (Ewel, 1976; Guillman, 1976; en Spain, 1984; en Mass et al., 1988). También se ha reconocido su papel como regulador del ciclo hidrológico al constituir un elemento interceptor del agua de lluvia. La capa de mantillo tiene un papel muy importante en la protección del suelo al efecto erosivo de las lluvias, disminuyendo el riesgo de perder elementos minerales del sistema (Babbar y Ewel, 1989). Principalmente en una comunidad como la selva baja caducifolia que al comienzo de la temporada de lluvias el dosel carece casi por completo de follaje (Mass *et al.*, 1988).

3.7. *Génesis del mantillo.*

El mantillo proviene y está formado por los restos de biomasa (hojas, estructuras reproductivas, frutos, ramitas y animales) que se desprenden de las plantas y se acumula en la superficie del suelo, es un componente importante del funcionamiento de un ecosistema (Barbour *et al.*, 1980; citado en Patiño, 1990).

El mantillo está sujeto a un proceso dinámico de descomposición que determina su tasa de cambio y acumulación. Por este proceso, los nutrientes en el mantillo se hacen disponibles para el crecimiento de las plantas, constituyéndose en una ruta importante del reciclaje de nutrientes en el ecosistema (Alexander, 1977; Swit, *et al.*, 1979; Staaf y Berg, 1982; O' Connell, 1987; Taylor y Parkinson, 1988; Babbar y Ewel, 1989; citado en Patiño, 1990).

Anderson y Swift (1982; Tomado de Patiño, 1990), encontraron que la descomposición del mantillo es regulada por tres grupos de variables como:

- a) La naturaleza de la comunidad degradadora, que incluye a los organismos que integran la micro fauna del suelo (bacterias y hongos) y la macro-fauna que incluye principalmente animales invertebrados.
- b) Características intrínsecas de los componentes del mantillo, como son su dureza, contenido de lignina, contenido de nutrientes, compuestos secundarios y tamaño de partícula que regula la tasa de descomposición, dependiendo si son hojas, o ramas, principalmente.
- c) Los factores físicos del medio, ya que la estacionalidad de la temperatura y la humedad influyen en la tasa de descomposición, los factores abióticos controlan gran parte de la pérdida de masa en los pastizales y en ambientes áridos, creando un micro clima.

3.8. *Variación temporal del mantillo*

Las variaciones temporales del mantillo están relacionadas con la estacionalidad de la caída de hojarasca y de la descomposición, ambas afectadas por la estacionalidad de la temperatura y precipitación. En un clima estacional, durante el período de sequía, la tasa de caída de hojarasca aumenta y las tasas de descomposición disminuyen, en oposición a lo que ocurre en la época de lluvias. Esto trae consigo que en el espesor del mantillo exista un incremento o decremento cíclico (Madge, 1969; Swift *et al.*, 1981). En cambio, cuando la lluvia está distribuida regularmente durante el año, las tasas de descomposición son menos variables y las fluctuaciones del mantillo menos marcado (Ogawa, 1978; en Spain, 1984; citado en Patiño, 1990).

Jordan (1983) estableció balances de radiación entre las tasas de producción de mantillo y la cantidad de energía solar disponible para el crecimiento de las plantas. Concluye que las tasas de producción de mantillo son más bajas en las regiones con bajos balances de radiación y que éstas se incrementan a medida que el balance de radiación aumenta (a mayor radiación solar, mayor crecimiento de las plantas y mayor producción de hojas). Así, el promedio más alto de producción de mantillo se presenta en las comunidades del trópico, para el que estimó un valor de 9.57 toneladas ha año⁻¹ (citado en Patiño, 1990).

3.9. *Descomposición del mantillo*

Proceso de descomposición

La descomposición consiste en una cadena de procesos sucesivos en los cuales una gran variedad de organismos toman parte (Longman y Jenik, 1987). Según Golley (1983b) y Swift *et al.* (1979), indican que la descomposición es un cambio de estado de recurso orgánico bajo la influencia de factores bióticos y abióticos en un intervalo de tiempo. El cambio en el estado del recurso incluye una pérdida de materia y una transformación en la composición química de los residuos, que puede o no ser acompañado por un proceso de fragmentación. Estos cambios se atribuyen al efecto de los procesos de fragmentación, lixiviación y catabolismo (Patiño, 1990).

- a) La fragmentación es la formación de partículas pequeñas a partir del material vegetal original. La fragmentación es un proceso físico y puede ocurrir por la actividad alimenticia de los organismos degradadores y por el efecto de factores abióticos como la insolación, alternancia de desecación y humedecimiento, o bien por el arrastre de la hojarasca ocasionada por el viento. La ingestión y digestión del material por los degradadores afecta además su composición química por medio de reacciones catabólicas

(Edwards, 1974; Jensen, 1974; Witkamp y Ausmus, 1976). Este cambio en la composición química modifica, a su vez, la tasa a la cual se descompone el material vegetal (Patiño, 1990).

- b) La lixiviación es un proceso abiótico por medio del cual los nutrientes son removidos del material vegetal por la acción del agua, provocando una pérdida de peso y un cambio en la composición química del recurso (siendo mínimo el efecto de la lixiviación para la materia orgánica, pero significativo para los minerales como el potasio). Diferentes estudios demuestran que las tasas iniciales de pérdida de peso están significativamente relacionadas con la proporción de materiales solubles inicialmente presentes, es decir, la pérdida inicial de peso se debe principalmente a la lixiviación del material soluble (Anderson, 1973; O' Connell, 1987; Ohlson, 1987; citado en Patiño, 1990).

- c) Catabolismo es el término bioquímico que describe la liberación de energía de una reacción enzimática o cadena de reacciones que generalmente involucran la transformación de compuestos orgánicos complejos a moléculas más pequeñas y simples. La composición química del recurso cambia como resultado de la producción de compuestos intermedios que pueden ser: 1) fácilmente lixiviados, 2) utilizados por los organismos degradadores o 3) incorporados como parte del humus (Patiño, 1990).

3.10. Factores que determinan la tasa de descomposición del mantillo

La descomposición del mantillo es regulada por tres grupos de variables aunque su importancia relativa puede variar de un sitio a otro y de un recurso a otro por ejemplo hojas, ramas y frutos (Anderson y Swift, 1982; citado en Patiño, 1990).

3.11. *Por la naturaleza de la comunidad degradadora*

Los organismos que integran la microflora del suelo son bacterias y hongos, y la fauna que incluye principalmente animales invertebrados (Patiño, 1990).

Resulta difícil investigar las interacciones dentro, y entre estos grupos, debido a la complejidad de su comunidad, sin embargo, Crossley y Hoglund (1962), usando muestras de hojas contenidas en bolsas de malla, determinaron con precisión la variación estacional de poblaciones de micro artrópodos con relación al contenido de humedad y a la secuencia de aparición de especies degradadoras durante la descomposición. (Benhard-Reversat, 1972; Anderson y Swift, 1982; en Patiño, 1990), encontraron en las selvas altas subcaducifolias al oeste de África una relación entre la abundancia de ciertos miembros de la fauna del suelo y la tasa a la cual se descompone el mantillo (Patiño, 1990).

Blair y Crossley (1988), afirmaron que con la exclusión o reducción de los micro-artrópodos las tasas de descomposición generalmente decrecen. Además, observaron que los microartrópodos tienen un efecto relativamente más grande sobre la descomposición del mantillo más recalcitrante (Patiño, 1990).

Por el contrario, Anderson (1973), encontró que la actividad de los macro-artrópodos es más importante en la descomposición. Por otra parte, Nye 1961 (en Patiño, 1990) en una selva alta perennifolia en Nigeria atribuyó a las termitas el papel principal en la descomposición del mantillo. Parece ser que la abundancia y distribución de las termitas determinan en gran medida la descomposición, particularmente la del material leñoso en algunos ecosistemas (Anderson y Swift, 1982; Golley 1983b; citado en Patiño, 1990).

Patiño (1990), concluye que los resultados indican claramente que el papel relativo de los diferentes grupos de los organismos del suelo depende grandemente del tipo de comunidad.

3.12. *Por las características intrínsecas de los componentes del mantillo*

Diferentes autores (Edwards, 1977; Anderson y Swift, 1982; Swift, 1982; citados por Patiño, 1990), han señalado que cada parte (hojas, ramas, entre otros) y los residuos vegetales de cada una de las especies que componen el mantillo, poseen una serie de características intrínsecas como su dureza, contenido de lignina, de nutrientes, compuestos secundarios y tamaño de partícula que regulan las tasas de descomposición; John (1973), también encontró que en el suelo de una comunidad de selva estacional en Ghana, las hojas tardan en descomponerse 2.5 meses mientras que las ramas tardan hasta 9.2 años (Patiño, 1990).

O'Connell (1987), también encontró que las hojas se descomponen más rápido que las ramas y que además hay diferencia en las tasas de descomposición entre las especies de una comunidad de eucaliptos en el suroeste de Australia. Martínez-Yrizar (1980 y 1984), encontró en una selva estacional en México que las tasas de descomposición de la materia orgánica foliar varía entre especies, aun bajo condiciones favorables de humedad y temperatura, y sugirió que las características de la morfología foliar de las especies explican en parte las diferencias de descomposición observadas (Patiño, 1990).

Takeda (1988), encontró que la constante anual de descomposición disminuye con la edad del mantillo en descomposición, esta disminución la atribuye a las propiedades químicas del mantillo. Berg *et al.* (1982; en Takeda, 1988), sugieren que la lignina es el factor limitante en los estados tardíos de descomposición del mantillo (Patiño, 1990).

3.13. *Por los factores físicos del medio*

De acuerdo con los resultados de Seastedt y Crossley, (1988), la estacionalidad de la temperatura y la humedad influyen en la tasa de descomposición, mientras que otros autores (Sharma y Ambasht, 1987; Stemberger y Whitford, 1988), afirman que los eventos de lluvia, más que su cantidad anual total, son los reguladores más importantes de la descomposición. Por otra parte, Montaña *et al.* (1988), concluyeron que los factores abióticos controlan a gran parte de la pérdida de masa en pastos en ambientes áridos (Patiño, 1990).

Las variaciones de la temperatura y la humedad en el ámbito edáfico inducen variaciones en las actividades de los organismos degradadores (Anderson y Swift, 1982; en Patiño, 1990). Blair y Crossley (1988) encontraron en un bosque al sur de los Apalaches que la combinación de temperaturas extremas altas y variabilidad en la humedad crearon un microclima sub-óptimo para la comunidad degradadora y por lo tanto disminuyó la tasa de descomposición. Por otro lado, Levings y Windor (1984) determinaron que el contenido de humedad en el mantillo afecta la distribución de artrópodos durante la estación seca y que la abundancia de algunos grupos (hormigas, escarabajos, isópodos, milípedos), se relaciona positivamente con el contenido de la humedad del mantillo. Para otros grupos (psocópteros, hemípteros), dicha relación es negativa (Patiño, 1990).

Hopkins (1966), Madge (1969), Tanner (1980), y Swift *et al.* (1881), encontraron que las tasas de descomposición se incrementan una vez iniciado el periodo de lluvias y se disminuyen considerablemente durante el periodo de sequía (Patiño, 1990).

Jenny *et al.* (1994), indicaron que la altitud también influye en la descomposición del mantillo y explicaron que a elevaciones bajas la descomposición ocurre principalmente durante la estación de lluvias y que las temperaturas altas son ineficaces si no hay humedad. Por otra parte, menciona

que a elevaciones altas tanto la temperatura como la humedad influyen en la descomposición de la materia orgánica. Woods y Gallegos (1970), mencionan que el incremento de altitud disminuye la temperatura y por ende la tasa de descomposición. Leakey y Proctor (1987), encontraron un efecto altitudinal en la composición de especies de la fauna del suelo y el mantillo (Patiño, 1990).

4. ÁREA DE ESTUDIO

La región Purépecha (Figura 4), ubicada en el Estado de Michoacán, se localiza entre las coordenadas extremas: 20°00' de latitud norte y 102°45' de longitud oeste, y 19°15' latitud norte y 101°15' de longitud oeste, distribuida en 16 municipios ubicada en la provincia fisiográfica denominada "Sistema Volcánico Transversal" o "Cordillera Neovolcánica", ocupando la porción centro-noroeste del Estado de Michoacán, tiene una superficie aproximada de 481,711 hectáreas (INEGI, 1990). Dotada con un acervo importante de bosques templados altamente diversos y productivos, la región experimenta, sin embargo, una disminución alarmante de la cobertura y calidad de sus recursos forestales (Masera *et al.*, 1998).



Figura 4. Localización del Área de estudio: Municipios de la Región Purépecha.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1964), 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 °C (mínima de -2 y máxima de 22 °C), con un patrón de lluvias estacional con lluvias en verano.

Hay una variedad de suelos de origen volcánico, dominado en el área los que son profundos y de texturas medias. Los tipos de suelos predominantes son:

Litsoles. Se trata de suelos poco desarrollados de escaso espesor. Ocupan poca extensión y se confinan a regiones dominadas por pedregales; es posible encontrarlos en zonas montañosas con pendientes fuertes o en terrenos con lavas. En Michoacán se les localiza en el Sistema Volcánico Transversal y la Sierra de Coálcoman.

Rendzinas. Su horizonte superior es oscuro debido a la materia orgánica presente sobre la roca madre de composición calcárea. Se localizan en los municipios de Huacana, Arteaga, Churumuco, Huetamo y San Lucas.

Andosoles. Se forman a partir de cenizas volcánicas; en condiciones húmedas y frías, presentan gran porosidad. Su fertilidad es buena, debido al alto contenido de minerales asimilables por las plantas. Se encuentran en las laderas de áreas volcánicas jóvenes y porciones planas que generalmente corresponden al fondo de cráteres, típicas del Sistema Volcánico Transversal.

Regosoles. Suelos poco desarrollados, formados por materiales no consolidados y blandos, su contenido de materia orgánica es bajo en la capa superior. Se encuentran en depósitos eólicos y de marea en las costas; donde hay cenizas, escorias y áreas volcánicas dispersas en zonas montañosas y donde se encuentran depósitos de limo y arena en zonas secas.

Vertisoles. Suelos negros, con abundante arcilla, se hinchan con la humedad y presentan muchas grietas cuando secos. Se localizan en tierras planas o ligeramente onduladas, en climas templados o cálidos. Predominan en el norte

de Michoacán, así como en el Plan de Tierra Caliente en la Cuenca del Tepalcatepec.

Fluvisoles. Se forman en depósitos fluviales recientes. Contienen materia orgánica, arena, arcilla y limo en diferentes proporciones, generalmente sus horizontes no se encuentran bien diferenciados. Se localizan en las vegas de ríos y arroyos, y llanuras aluviales

La vegetación de la región está representada por: bosques de oyamel (Madrigal, 1982; Caro, 1987), bosques de pino (Madrigal, 1982; Caballero *et al.*, 1992), bosques de pino-encino (Madrigal, 1982), bosques de encino (Madrigal, 1982; Caro, 1987) y bosques mesófilos de montaña (Cruz, inédito). Caballero *et al.* (1992), incluyen además el matorral de baccharis, el matorral xerófilo y los pastizales inducidos. La vegetación es representativa de los bosques templados del centro y sur del país (Rzedowski, 1978).

Los cuerpos de agua más importantes de la región son: el lago de Pátzcuaro (2035 msnm.) y el lago de Zirahuén (2120 msnm.), considerados como cuencas lacustres del plioceno-pleistoceno, siendo Pátzcuaro un lago en proceso de envejecimiento y Zirahuén el lago más joven (Israde-Alcántara y Martínez, 1986).

5. METODOLOGÍA

5.1. Sub-regionalización

Con base en la fisiografía, los cambios dominantes del uso del suelo y estudios previos (Masera *et al.*, 1998) se pueden identificar cuatro subregiones en el área de estudio, que son: la Cuenca lacustre, la Meseta, la Vertiente del Balsas y el Volcán del Tancítaro (Cuadro 1);

Cuadro 1. Características de las sub regiones que comprenden la región Purépecha y criterios para delimitarlas:

| Criterios | | Subregión | Municipios |
|----------------------|--|-----------|---|
| Fisiografía | Cambios dominantes del uso del suelo (CDUS) | | |
| Cuenca lacustre | Tierras con cubierta boscosa que se cambiaron drásticamente a uso agrícola y posteriormente se abandonaron y hoy presentan una regeneración natural. Hay una veda forestal permanente. | Pátzcuaro | Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan, Erongarícuaro y Villa Escalante. |
| Meseta | Tierras que originalmente estaban cubiertas de bosques y actualmente son agrícolas. | Meseta | Tangancícuaro, Chilchota, Paracho, Nahuatzén, Charapan y Los Reyes. |
| Vertiente del Balsas | Tierras que originalmente estaban cubiertas de bosque y ahora existen plantaciones y huertos. | Uruapan | Uruapan, Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan. |
| Volcán del Tancítaro | Tierra con cobertura forestal que en las laderas del cono se está transformando en plantaciones mientras que en la base se ha establecido una zona agrícola. | Tancítaro | Peribán, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Tancítaro. |

5.2. Determinación de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo

Una vez delimitadas las sub regiones por sus características, se procedió a clasificar la imagen de satélite Landsat ETM del año 2000, a fin de identificar las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo y posteriormente seleccionar los posibles sitios de muestreo.

La imagen Landsat ETM del año 2000 fue procesada por la Biol. Gabriela Guerrero. Para los fines de este estudio dichas clases (21) fueron reagrupadas en 15 clases (Cuadro 2). 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.

Cuadro 2. Clases de cobertura vegetal y uso del suelo.

| Clases en este estudio | Siglas | Clases del INF |
|-------------------------------------|--------|--|
| Agricultura | AGR | Agricultura de humedad. Agricultura de temporal con cultivos anuales. |
| Agricultura de cultivos permanentes | FRU | Agricultura de temporal con cultivos permanentes y semi-permanentes. |
| 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 de oyamel | OY | Bosque de oyamel (incluye ayarín y cedro). |
| Bosque con vegetación secundaria | BVS | Bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva y herbáceo. Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y herbáceo. Bosque de pino - encino (incluye encino - pino) con vegetación secundaria. |
| Matorrales | MAT | Matorral sub – tropical. Matorral sub - tropical con vegetación arbustiva y herbáceo. |
| Pastizal | PAS | Pastizal inducido. |
| Plantación forestal | REF | Plantación forestal. |
| Área sin vegetación aparente | *ASV | Área sin vegetación aparente. |
| Asentamientos humanos | *AH | Asentamientos humanos. |
| Cuerpos de agua | *CA | Lago de Patzcuaro. Lago de Zirahuén. |
| Otros | *OTR | Agricultura de riego (incluye riego eventual). |
| Sin clasificar | *SC | Selva baja caducifolia y sub - caducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbáceo; Popal y Tular. |

*Clases de CV y US a las que no se les realizó una cuantificación de contenido de carbono.

5.3. *Estrategia de muestreo en campo*

Una vez identificadas las clases se procedieron a seleccionar sitios de muestreo en las cuatro sub - regiones (Figura 5), para ello se consideraron cuatro premisas:

- 1) Acceso y cercanía al sitio;
- 2) Que en el sitio estén representadas el mayor número de clases de CV y US;
- 3) Tener el permiso del propietario o la comunidad, para realizar el muestreo, y
- 4) Tener una superficie mínima de cuatro hectáreas para poder identificar claramente la clase en la imagen de satélite.

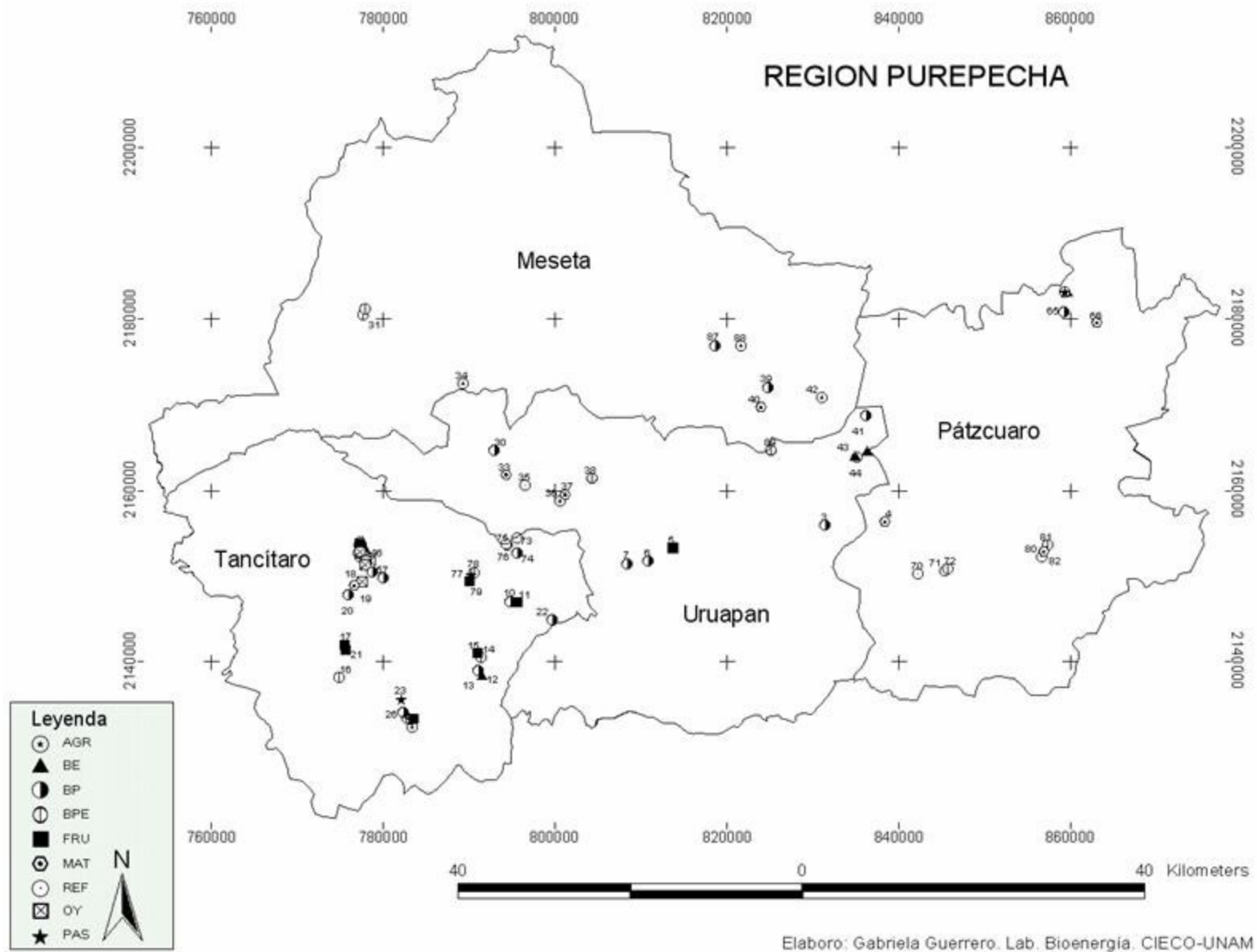


Figura 5. Localización de los sitios de muestreo por clase de cobertura vegetal y uso del suelo, y por subregión.

La metodología empleada en campo para la colecta de mantillo, se basó en un diseño “anidado” (Figura 6) que permite la colección de muestras y sus réplicas; se colectaron en 83 sitios distintos con muestras de suelo y datos de biomasa aérea y materia leñosa muerta.

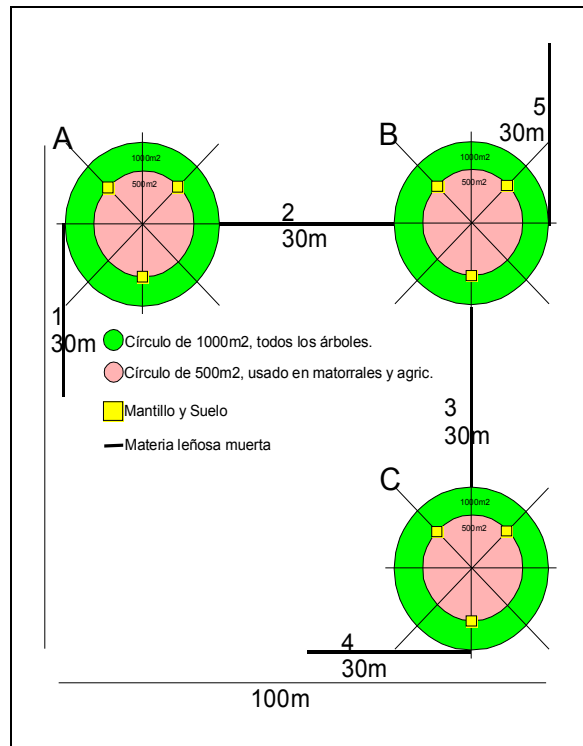


Figura 6. Diseño de muestreo basado en Ordóñez, 2001 (la superficie se expresa en m²).

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

Con la información obtenida se estructuraron bases de datos que posteriormente se analizaron en tablas dinámicas del programa MSEXcel, 2000, a fin de hacer el análisis de resultados. Con los resultados obtenidos se realiza un mapa del contenido de carbono en mantillo, por clase de cobertura vegetal y uso del suelo usando el programa ArcView versión 3.2 y 8.3.

5.4. Determinación del contenido de carbono para las principales clases de cobertura vegetal y uso del suelo

Para cuantificar el contenido de carbono en los diferentes reservorios, primero se identificaron tres almacenes (biomasa aérea, mantillo y suelo), Se desarrolló una metodología que permitió tomar datos y muestras de dichos almacenes en un mismo proceso; se trabajó en paralelo con estudiantes que por un lado determinaron el contenido de carbono en el mantillo (J.V. Pérez), suelo (F.L. Aviña) y biomasa aérea (J.A.B. Ordóñez), y por otro lado clasificaron las imágenes de satélite (G. Guerrero) para el año 2000.

Una vez identificados los sitios de muestreo, se aplicó el diseño de muestreo¹ (Figura 6) modificado de métodos de Brown & Delaney (2000), e inventarios forestales que se siguen desde que existe el aprovechamiento forestal.

5.5. Carbono en el mantillo

El carbono contenido en el mantillo (C_m) se obtiene una vez que se analiza la varianza que registre el procesamiento de las muestras y se elige un valor porcentual del contenido de carbono en peso seco, por clase de cobertura vegetal y uso del suelo. Una vez obtenido el valor porcentual se multiplica por el peso seco de cada una de las muestras de cada clase de tal forma que tenemos:

C_m = Concentración de carbono (%) x los gramos de muestra seca.

5.6. Muestreo

¹ Este método (propuesto por Ordóñez, 2001) es producto de la compilación y síntesis de métodos usados por varios autores (Brown and Roussopoulos, 1974; Castellanos *et al.*, 1991; Rentería, 1997; Tipper and De Jong, 1998; Escandón-Calderón *et al.*, 1999; Hughes *et al.*, 1999 y 2000; Brown and Delaney, 2000; De Jong *et al.*, 2000; Ahedo, 2001; De Jong, 2000) para la determinación de biomasa en diferentes almacenes, realizar inventarios forestales y análisis de la cobertura vegetal y uso de suelo e integrarla con contenido de carbono en biomasa, mantillo y suelo. Asimismo, este diseño, tiene varias bondades ya que al haber tres círculos nos permitirá analizar la variación intra e interespecífica de los contenidos de carbono por almacén en cada sitio de forma tal que estadísticamente tiene una muestra con dos repeticiones ($n=3$). Durante el muestreo también se realiza la corrección planimétrica de la superficie muestreada dando elementos para una estimación más precisa al usar imágenes de satélite.

5.6.1. *Materiales*

Los materiales que se utilizaron para la colecta de muestras de mantillo fueron:

- Una cuerda de 12.62 m de longitud para ubicar los cuadros dentro de los círculos de muestreo (misma que se utilizó para muestreo de herbáceas y suelo).
- Una regleta de 50 x 50 x 50 x 50 cm de cada lado que permitió formar un cuadrado de 0.25m².
- Un inclinómetro (Suunto) para registrar el valor de las pendientes.
- Un GPS (Magellan, Color track), que sirvió para localizar las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo.
- Guantes de algodón para proteger las manos de espinas.
- Bolsas de papel de estraza (Número 18 y 20) para colectar las muestras.
- Marcador de tinta indeleble para rotular las bolsas.
- Un rastrillo manual de jardín.
- Una pala manual de jardín.

5.6.2. *Métodos*

El muestreo de mantillo de cada una de las clases, se realizó después de trazar los tres círculos para cada sitio y tomando tres muestras de mantillo por círculo; lo que da un total de 9 muestras por sitio, las cuales fueron procesadas y analizadas posteriormente en el laboratorio. Nueve por 83 igual a 747 muestras totales.

Las muestras se guardaron en bolsas de papel marcadas con tinta indeleble conteniendo la siguiente información:

Fecha:

Localidad:

Sitio: Número de sitio.

Círculo: **A, B o C**

Cuadro: **1, 2 ó 3**

Muestra: **M** (mantillo) **H** (herbáceas)

Fue de fundamental importancia que se anotaran claramente los datos solicitados y se respetaran los valores asignados para el sitio, círculo y cuadro, lo que permitió facilitar su posterior procesamiento en laboratorio y registro de datos.

5.7. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

Análisis de Laboratorio de las muestras de mantillo.

Secado: las muestras de mantillo colectadas en campo fueron colocadas en la estufa de secado a 80°C durante tres días y al término de esto se tomó su peso seco. Una muestra (25 µg, se colocan en la cuchara del incinerador -Foto c-) de cada sitio se eligió al azar para el análisis del contenido de carbono. Cada una de las muestras que se eligieron al azar, se molieron para conformar una mezcla homogénea. Esta mezcla se proceso en el TOC (Fotos a, b y c), para determinar el contenido de carbono de cada muestra, el cual funciona bajo el siguiente principio:

La celda del coulómetro se llena con una solución que contiene monoetanolamina y un detector colorimétrico de pH. La celda cuenta con un cátodo de platino y un ánodo de plata que se encuentra colocado entre un haz de luz y un foto-detector en el coulómetro. Cuando el CO₂ entra a la celda (Foto a), es cuantitativamente absorbido, reaccionando con la monoetanolamina, formando un ácido titulable. Esto hace que el color se difumine o se haga más tenue. El fotodetector (Foto b) puede monitorear los cambios en el color y los registra como

% de transmitancia (%T). Al incrementarse él % de T, la titulación es automáticamente activada para generar electroquímicamente una base a una velocidad proporcional al %T (1500 μg de C/min.). Cuando la solución regresa a su color original (%T original), la reacción se detiene. El modelo se basa en el principio de Faraday, un faradio de electricidad es igual a la transformación de 1GEW (peso gramo equivalente) de una sustancia durante la electrólisis. En el coulómetro, cada Faraday de electricidad es equivalente a 1 GEW de CO_2 titulado.



Fotos: a

b

c

5.8. *Análisis de datos*

Después de concluir el trabajo de laboratorio se procedió a sistematizar el registro de peso seco y contenido de carbono en una base de 5,680 datos. Esto fue procesado en una hoja de cálculo del programa MSEXcel, 2000, para su análisis e interpretación de los resultados obtenidos lo cual nos permite interpretar cuantitativamente:

- a) La cantidad de masa de mantillo,
- b) La concentración de carbono del mantillo y
- c) El contenido de carbono del mantillo.

A estos datos se les dio un arreglo, por sub regiones, por sitios, por clases, por círculos, por muestras, por peso en gramos por metro cuadrado (gm^2), por CC%, por CCgm^2 , para al final representarlos en MgCha^{-1} .

6. Resultados

Para estimar el carbono contenido en mantillo fueron procesadas 1,860 muestras, de las cuales se tomaron 83 muestras representativas de todas las clases (Cuadro 3) para determinar su concentración de carbono; de donde se derivan los siguientes resultados (Cuadro 4):

Cuadro 3. Selección de muestras por clase de cobertura vegetal y uso de suelo por subregión.

| Subregión | Clase de cobertura vegetal y uso del suelo | | | | | | | | | | Total |
|--------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| | AGR | PAS | MAT | FRU | REF | BVS | BP | BE | BPE | OY | |
| Meseta | 4 | | 1 | | | | 6 | 2 | 2 | | 15 |
| Pátzcuaro | 1 | 1 | 2 | | 2 | | 2 | 1 | 3 | | 12 |
| Tancítaro | 4 | 1 | 3 | 8 | 2 | 2 | 8 | 3 | 5 | 6 | 42 |
| Uruapan | 1 | | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | | 14 |
| Total | 10 | 2 | 9 | 9 | 5 | 3 | 19 | 8 | 12 | 6 | 83 |

Cuadro 4. Resultados de los análisis de la concentración de carbono expresado en porcentaje contenido por gramo de muestra de mantillo, para cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo, en el área de estudio a nivel de subregión.

| Subregión | Clases de cobertura vegetal y uso del suelo | | | | | | | | | | Total general |
|----------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| | AGR | PAS | MAT | FRU | REF | BVS | BP | BE | BPE | OY | |
| Meseta | 31.5 | | 39.0 | | | | 34.2 | 30.6 | 34.9 | | 33.5 |
| Pátzcuaro | 38.0 | 35.9 | 40.2 | | 46.4 | | 36.3 | 39.8 | 40.4 | | 40.4 |
| Tancítaro | | | | | | 43.8 | 44.0 | 33.5 | 42.8 | 36.8 | 40.6 |
| Uruapan | 12.0 | | 30.5 | 24.6 | 24.9 | 42.8 | 28.1 | 30.8 | 20.8 | | 27.9 |
| Total general | 28.9 | 35.9 | 34.1 | 24.6 | 39.3 | 43.4 | 37.2 | 32.9 | 37.8 | 36.8 | 35.9 |

Se determinó el contenido de carbono en mantillo expresado en MgCha^{-1} (con su n, promedio, rango e intervalo de confianza), para cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo (Cuadro 5), una vez obtenidos estos valores se representan gráficamente en la Figura 7, donde se aprecia la varianza que el mantillo presenta en cada una de las clases muestreadas.

Cuadro 5. Contenido de carbono en mantillo por clase de cobertura vegetal y uso del suelo expresado en MgCha⁻¹.

| Clases | | Mantillo MgCha ⁻¹ |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Agricultura | n | 6 |
| | Promedio | 0.5 |
| | Rango | 0.1-1.3 |
| | Intervalo de confianza | 0.2 |
| Pastizales | n | 2 |
| | Promedio | 0.1 |
| | Rango | 0.1-1.3 |
| | Intervalo de confianza | 0.2 |
| Matorrales | n | 6 |
| | Promedio | 1.1 |
| | Rango | 0.8-1.8 |
| | Intervalo de confianza | 0.3 |
| Frutales | n | 1 |
| | Promedio | 3.7 |
| | Rango | 3.7-3.7 |
| | Intervalo de confianza | 1.1 |
| Reforestación | n | 3 |
| | Promedio | 2.1 |
| | Rango | 1.1.-3.3 |
| | Intervalo de confianza | 0.6 |
| Bosque con vegetación secundaria | n | 2 |
| | Promedio | 2.2 |
| | Rango | 1.6-3.2 |
| | Intervalo de confianza | 0.7 |
| Bosque de pino | n | 19 |
| | Promedio | 3.0 |
| | Rango | 0.2-8.3 |
| | Intervalo de confianza | 0.4 |
| Bosque de pino-encino | n | 10 |
| | Promedio | 3.4 |
| | Rango | 1.2-6.8 |
| | Intervalo de confianza | 0.7 |
| Bosque de Encino | n | 8 |
| | Promedio | 3.2 |
| | Rango | 1.6-6.6 |
| | Intervalo de confianza | 0.6 |
| Bosque oyamel | n | 6 |
| | Promedio | 4.1 |
| | Rango | 0.1-7.1 |
| | Intervalo de confianza | 1.1 |

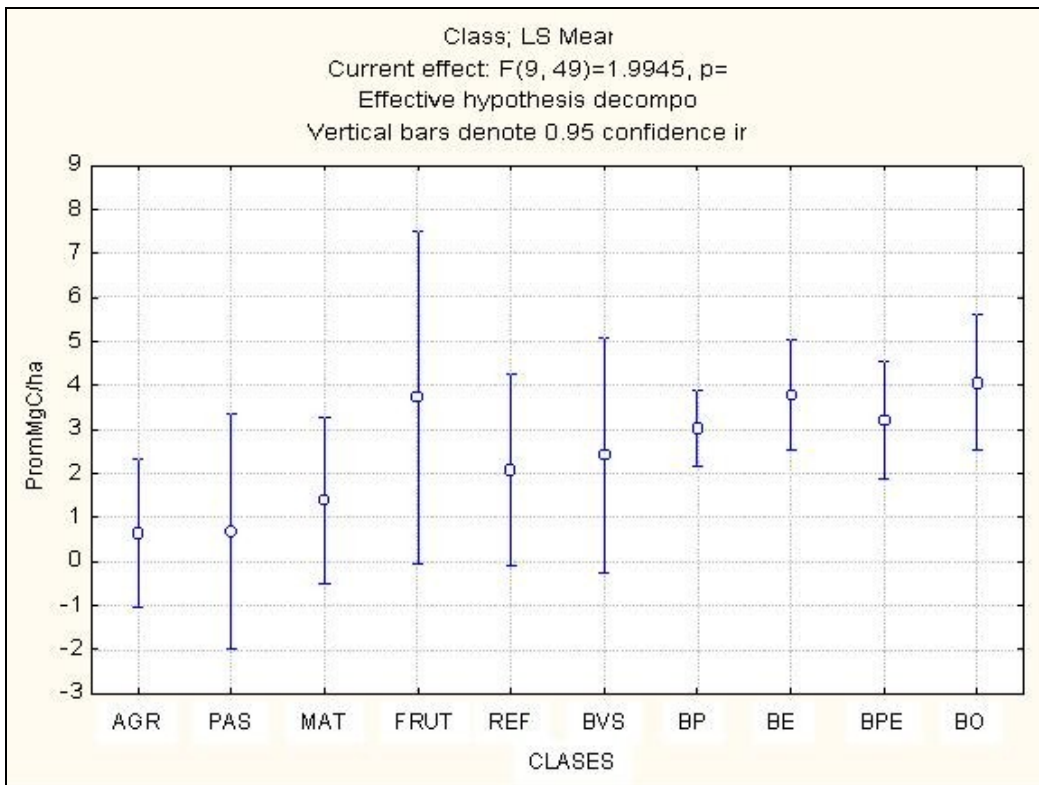


Figura 7. Representación gráfica del contenido de carbono (expresado en MgC/ha que es igual a MgCh^{-1}) en mantillo por clase de cobertura vegetal y uso del suelo con su respectiva varianza.

Una vez obtenidos los resultados del contenido de carbono expresado en MgCh^{-1} por clase de cobertura vegetal y uso del suelo, se cruza con la información resultante de la clasificación de la imagen del año 2000 y se asignan los valores en MgCh^{-1} a cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo y se mapean los resultados teniendo como último resultado el mapa de contenido de carbono en mantillo en las distintas clases de cobertura vegetal y uso del suelo (Figura 8).

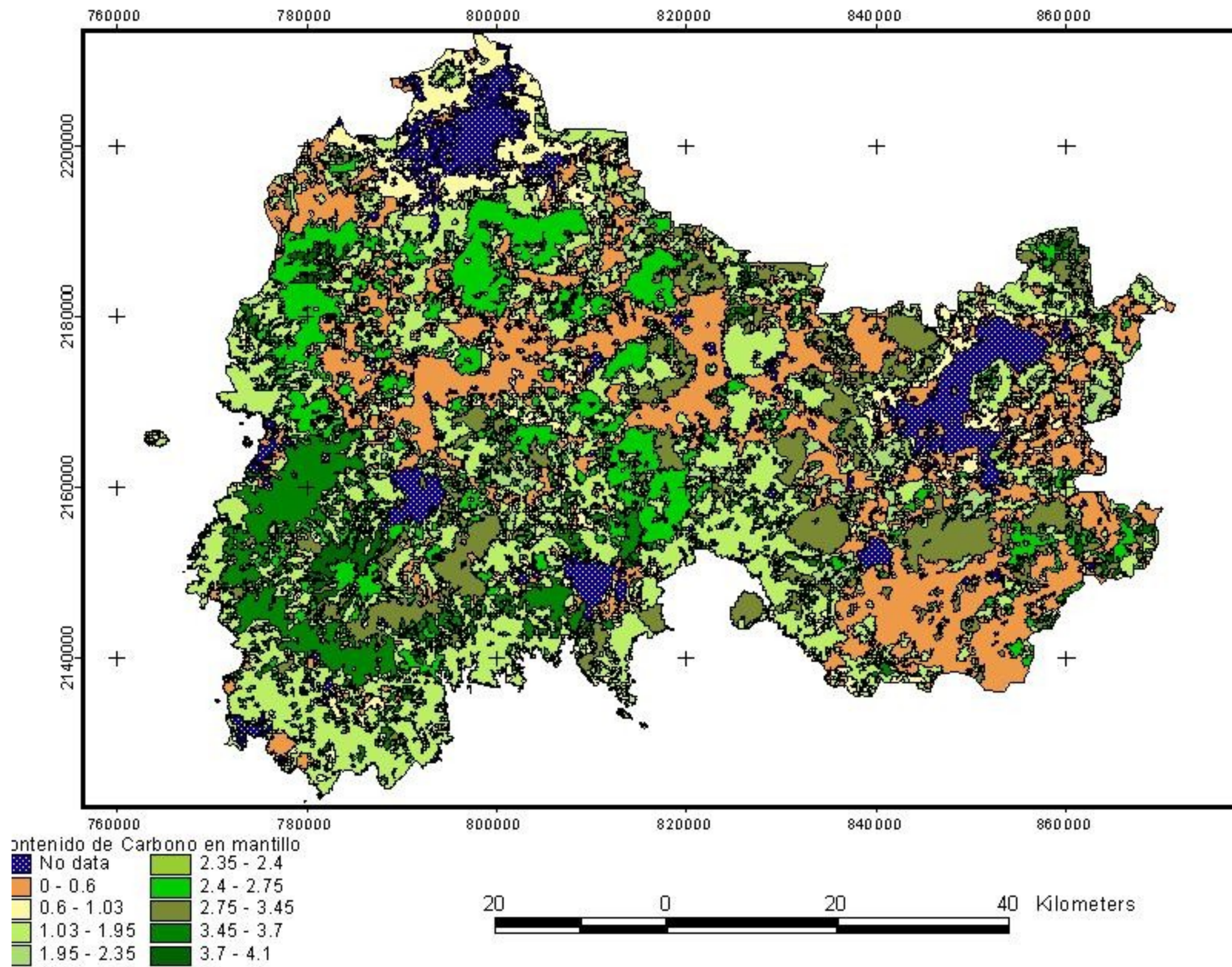


Figura 8. Mapa de contenidos de carbono (MgCha⁻¹) en mantillo, para la región Purépecha.

7. DISCUSIÓN.

En la región Purépecha se observaron cambios dominantes del uso del suelo, por una parte derivadas de las principales actividades socioeconómicas en las diferentes comunidades y en los diferentes municipios; por otra parte por los programas o vedas que el gobierno ha establecido en dicha región, aunados a elementos fisiográficos (ver cuadro 2) que dieron pauta a la subregionalización, reforzando la propuesta de otros autores (Maserá et al., 1998 y Ordóñez et al., 2004).

El diseño de muestreo empleado nos permite evaluar los cambios en las cantidades de mantillo en cada clase y su posterior procesamiento en laboratorio. Al aplicar las cuatro premisas para el desarrollo del muestreo, se redujo el número potencial de sitios, quedando al final 83 sitios para la región Purépecha; como el diseño de muestreo es anidado, se pueden apreciar los cambios en cada uno de los tres círculos de muestreo y en la totalidad del sitio. Este diseño propuesto por Ordóñez (2000), es bondadoso en cuanto a la información estadística que se obtiene y perfectible para medir otras variables como la emisión de gases (óxidos nitrosos, dióxido de carbono y metano).

La base de datos depurada y ordenada, tiene un total de 5,860 datos; que al usar las tablas dinámicas del programa MSEXcel (2000), nos permitieron analizar los datos por variable principal, y de esta forma se obtuvieron los cuadros finales.

Se observaron cambios importantes en la concentración de carbono en mantillo a nivel subregional, por clase de cobertura vegetal y uso del suelo, siendo el valor más bajo de 12% en agricultura en la subregión Tancítaro y el más alto de 46.4% en la clase “reforestación” en la subregión Pátzcuaro. El resultado de los valores estimados en la concentración de carbono, permiten retirar incertidumbres generadas en su entorno, ya que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), sugiere que se usen valores promedio

de 0.45 o 45% de concentración de carbono respecto a la biomasa en general y de ahí la relevancia del presente estudio al aportar nuevos valores, que son dignos de refinarse y dadas las características del estudio tienden a ser perfectibles; esto para poder entender con mayor precisión los factores propios de las estructuras dominantes del mantillo como la celulosa, hemicelulosa y otros componentes que hacen que las concentraciones de carbono por clase de cobertura vegetal y uso del suelo cambien o sean específicas.

El contenido de carbono estimado por ha, para cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo, muestran que: los pastizales son la clase con menor cantidad de mantillo pues en promedio presentan 0.1 MgCha^{-1} ; le sigue la clase de agricultura con 0.5 MgCha^{-1} ; cabe señalar que estas dos clases son las que tienen mayor actividad tanto humana como de perturbación y compactación de suelo por ganado; que la clase agricultura ocupa el segundo lugar en cuanto a superficie estimada con 125,972ha; también las prácticas agrícolas que se desarrollan usan maquinaria y en ningún caso se observó la técnica conocida con el nombre de labranza cero. Esto es importante porque los resultados permiten apreciar la necesidad de nuevos diseños de tecnología para el desarrollo agrícola y ganadero que perturben menos el terreno y dan oportunidad a que el mantillo haga su función de protección del suelo e inicio de los ciclos biogeoquímicos.

La clase matorrales, en su mayoría se pudo apreciar que son áreas abandonadas que en su momento fueron agrícolas y originalmente eran bosques. Éstas presentan un contenido de carbono por ha de 1.1 toneladas con un rango que va de 0.8 a 1.8 MgCha^{-1} .

Las clases “reforestación” y bosque con vegetación secundaria, presentan un promedio cercano en los valores estimados de contenido de carbono en el mantillo con 2.1 y 2.2 MgCha^{-1} respectivamente con un rango que va de 1.1 a 3.3 MgCha^{-1} . Cabe señalar que la clase de bosque con vegetación secundaria tiene la mayor superficie en la Región Purépecha 181,259 ha.

Las clases de bosque de pino, pino-encino y encino, presentan valores cercanos que en promedio tienen: 3.0, 3.4 y 3.2 MgCha⁻¹ respectivamente con rangos que en su conjunto van de 0.2 a 8.3 MgCha⁻¹.

La clase de frutales presentó un contenido de 3.7 MgCha⁻¹, ésto se debe a que principalmente son plantaciones de aguacate donde originalmente estaban bosques de encino, pino y pino-encino. También se apreció la cantidad de insumos como fertilizantes y agroquímicos que utilizan, aunado al alto consumo de agua que se requiere para estas plantaciones.

Por último, la clase oyamel presentó el mayor contenido de carbono por hectárea 4.1 toneladas, debido principalmente al estado de conservación de estos remanentes de bosque ubicados en las cercanías del Tancítaro.

Al exportar la base de datos al programa Statistics, se pudo graficar el promedio de las concentraciones de carbono con su varianza asociada (Figura 7); ahí se pudo apreciar que las clases donde se registra algún tipo de actividad humana o perturbación, son las que presentan mayor varianza (en el orden de 2 a 5 unidades) y esto puede ser un elemento de discusión para poder saber qué tan perturbados o intervenidos son estos lugares.

8. CONCLUSIÓN

El sector agropecuario en México presenta una marcada dependencia en tres diferentes niveles:

Dependencia técnica, debido a la escasez de técnicos capacitados y carencia de tecnología propia y adecuada en el ámbito del desarrollo agropecuario; esto nos obliga a transplantar modelos que en general no corresponden a las condiciones naturales y socioeconómicas del país.

Dependencia económica, por el incipiente desarrollo que nos hace dependientes de la importación de bienes de producción que encarecen notablemente nuestros productos primarios y secundarios, e inhiben considerablemente nuestra capacidad productiva integral, provocando en términos generales la necesidad de importación de productos terminados y la exportación de materias primas; por ello esta realidad aunada al costo de la tecnología da lugar a un balance desfavorable en la generación de divisas y un endeudamiento constante y creciente.

Dependencia cultural causada por la implementación de hábitos propios de una sociedad de consumo de bienes superfluos que impiden la generación de empleos al ritmo que requiere nuestro desarrollo, generándose por esta deficiencia una delicada presión interna y una peligrosa dependencia externa.

Dentro de los sistemas de producción agrícola se observan cambios significativos entre los pequeños (los que pagan por la producción) y grandes productores (quienes se benefician de la producción y las utilidades que éstas generan), aunado al olvido de las técnicas tradicionales de manejo de cultivos. Que han resultado inadecuadas a nuestros recursos y cultura, tendientes a postergar la dependencia tecnológica y económica del país

Algunas investigaciones actuales recapitulan estas técnicas tradicionales y las implementan, lo más relevante del asunto, es que el mantillo y vegetación herbácea que se desarrolla antes, durante y al final del ciclo agrícola, (aplicación de técnicas de labranza tradicionales como la labranza cero), juega un importante papel en el aporte de materia orgánica al sustrato, protección del suelo, evita la degradación del mismo, amortigua el rompimiento de los agregados del suelo al exponerse éste a: heladas, procesos de evapotranspiración, fractura del suelo por insolación, lixiviación, lluvias, erosión y escurrimientos, mitigando en cierta medida el proceso de degradación; por otro lado, ofrece alimento a rumiantes y su nueva estructura permite aumentar el rendimiento de la cosecha, además de ofrecer un pequeño refugio a otros organismos.

Por lo mencionado anteriormente, el mantillo se mantenía olvidado y no se había podido detectar cómo este elemento juega un importante papel en el ciclaje de carbono, ya que es la puerta de entrada de muchos ciclos biogeoquímicos en el suelo y su relación con la dinámica del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo.

Los resultados nos señalan que el mantillo es la puerta de entrada para estructurar, conformar y enriquecer la materia orgánica del suelo; durante el proceso de transición de los materiales que conforman la biomasa, del mantillo, se capturan cantidades poco significativas (respecto a la biomasa de la vegetación tanto aérea como subterránea y al suelo) de carbono, y por ello es necesario cuantificar, para incluirlo en las estimaciones totales de carbono junto con el resto de los componentes del bosque (biomasa aérea, raíces y suelo).

El presente estudio identificó uno de los elementos cruciales dentro de la producción primaria neta (el mantillo) y lo relacionó con las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo en la Región Purepecha; aplicó bases técnicas y científicas adecuadas, validadas y vigentes a fin de estimar la concentración de carbono y calcular el contenido de carbono en el mantillo, integrando el presente

estudio en un estudio más completo donde se midieron otros reservorios de carbono (biomasa aérea, suelo y raíces) y su relación con la dinámica del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo.

Por ello, este estudio tiene aportaciones en:

- a) La generación de nuevo conocimiento e hipótesis sobre contenido y captura de carbono;
- b) La obtención de información básica para formular una metodología para estimación de las concentraciones de carbono en los diferentes almacenes, estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, y
- c) La aportación de elementos para una línea base a fin de poder ofrecer en el largo plazo un servicio ambiental conocido como captura de carbono e
- d) Integración de un trabajo multidisciplinario.

Por último, se puede concluir que: el mantillo juega un papel importante en las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo, no en cuanto a su capacidad de almacenamiento de carbono, pero sí en cuanto a sus aspectos biogeoquímicos, microclimáticos y de protección del suelo.

Cuando hayáis abatido el último árbol,
cuando hayáis cazado la última presa,
cuando hayáis secado el último río;
sabrás que el dinero no se come.

Jefe Indio

9. REFERENCIAS

- Ahedo, L. R. 2001. Biomasa y almacenes de carbono radical en la Región de los Tuxtlas, Veracruz; variaciones con el cambio de uso del suelo. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. 47 p.
- Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology (2da. edición). John Wiley, New York and London.
- Anderson, J. M. 1973. The breakdown and descomposition of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) litter. I Breakdown, leaching and descomposition. *Oecologia* 12:251-274.
- Anderson, J. R., E. E. Hardy, J. T. Roach and R. E. Witmer. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data, Geological survey professional paper 964. Washington.
- Anderson, J. M. and M. J. Swift. 1982. Decomposition in tropical forest. In: Tropical Rain Forest: Ecology and Management. Sutton S. L., T. C. Witmore & A. C. Chadwick (Eds.) Blackwell Scientific Publications. Great Britain.
- Babbar, L. I. and J. J. Ewel. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesión ales tropicales. *Biotropica* 21 (1) : 20-29.
- Barbour, M. G., J. H. Burk and W. D. Pitts. 1980. Terrestrial plant Ecology. Benjamin Cummings Publ.
- Blair, J. M. y D. A. Crossley Jr. 1988. Litter decomposition, nitrogen dynamics and litter microarthropods in a southern Appalachian hardwood forest 8 years following clearcutting. *J. Appl. Ecol.* 25 (2): 683-698.
- Bocco, G., O. Maser y M. Mendoza. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* No. 44: 18:38.
- Brown, J. K. and P. J. Roussopoulos. 1974. Estimating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuels. *Forest Science.* 20:350-356.
- Brown, S. and M. Delaney. 2000. Standard operating procedures for measuring carbon in forests and agriculture projects. Version: 1.00 Winrock International, October.
- Caballero, J., N. Barrera y C. Mapes. 1992. "La Vegetación Terrestre". En Plan Páztcuaro 2000. 1a Ed., pp 71-90. México, D. F. Friedrich Ebert Stiftung.

Caro, R. 1987. "Caracterización de la Industria Maderable en el Área de Influencia de la UAF 6: Meseta Tarasca". Tesis. Morelia, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Castellanos, J., J. M. Maass and J. Kummerow. 1991 Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. *Plant and Soil*. 131:225-228.

Crossley, D. A. Jr. and H. P. Hoglund. 1962. A litter bag method for the study of microarthropods inhabiting leaf litter. *Ecology* 43 (3) : 571 -573.

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.

Díaz, R. 2000. Consumo de leña en el sector residencial de México Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F.

De Jong, B.H.J. 2000. Forestry for Mitigating the Greenhouse Effect: An ecological and economic assessment of the potential land use to mitigate CO2 emissions in the highlands of Chiapas, Mexico. 220 pp.

De Jong, B. H. J., S. Ochoa-Gaona, M. A. Castillo-Santiago, N. Ramirez-Marcial, and M. A. Cairns. 2000. Carbon flux and patterns of land-use/land-cover change in the Selva Lacandona, Mexico. *AMBIO* 2000, Vol 29: 8, pp 504-511.

Edwards, C. A. 1974. Microarthropods. In: *Biology of Plant Litter Decomposition*. Dickson, C. H. and G. J. F. Pugh (Eds.) Vol. II. Academic Press, London.

Edwards, P. J. 1977. Studies in mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. II. The production and disappearance of litter. *J. Ecol.* 65: 971-992.

Ehrlich, P. R. and J. Roughgarden. 1987. *The Science of Ecology*. MacMillan Publishing Company. New York.

Encarta, 2000. Enciclopedia, Microsoft INC.

Escandón-Calderón, J., B. H. J. DeJong, S. Ochoa-Gaona, I. March-Mifsut y M. A. Castillo-Santiago. 1999. Evaluación de dos métodos de estimación de biomasa arbórea a través de datos LANDSAT TM en Jusnajib, Chiapas, México: estudio de caso. *Investigaciones Geográficas Boletín* (en prensa).

Ewel, J. J. 1976. Litterfall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. *J. Ecol.* 64: 293-308.

García, E. 1964. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México, D. F. Offset Larios. 3ª ed. Corregida y aumentada 1988.

- García, A. J. 1984. La biomasa. *Revista Ambiente* No 1, año 8, Pág. 31.
- Garcidueñas, A. R. 1987. Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Gay, C. and J. Martínez. 1995. Mitigation of Emissions of Greenhouse Gases in México. *Interciencia*, 20:6, pp. 336-342.
- Gobierno de México. 1997. Programa Forestal y de suelo 1995-2000. 105 p.
- Golley, F. 1983. Descomposition in Topical Rain Forest. *Ecosystems*. Golley F. (Ed.) New York. pp. 157-166.
- Hopkins, B. 1966. Vegetation of the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria. IV. The Litter and soil with special reference to their seasonal changes. *J. Ecol.* 54: 687-703.
- Hughes, R. F., J. B. Kauffman, and V. J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80(6): 1892-1907.
- Hughes, R. F., J. B. Kauffman, and V. J. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and landuse in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Applications* 10: 515-527.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1990. VII Censo Agrícola, Pecuario y Ejidal.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. *Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Israde-Alcántara, I. 1999. Los lagos volcánicos y tectónicos de Michoacán. Carta geológica de Michoacán escala 1:250,000. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Departamento de Geología y Mineralogía. Michoacán, México. 45-72 pp.
- Jaramillo, V. J. 1992. El fuego y la biogeoquímica en un ecosistema tropical estacional. *Ciencia* 43:41-43.
- Jenny, H., S. P. Gessel, and F. T. Burham. 1994. Comparative study of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sci.* 68: 417-432.
- Jensen, V. 1974. Descomposition of angiosperm tree leaf litter. In: *Biology of Plant Litter Descomposition*. Dickinson C. H. And G. F. J. Pugh (Eds). Vol. I. Academic Press. London.

John, D. M. 1973. Accumulation and decay of litter and net production of forest in tropical West Africa. *Oikos*. 24: 430-435.

Jordan, C. F. 1983. Productivity of tropical rain forest ecosystems and the implications for their use as future wood and energy sources. In *Tropical Rain Forest Ecosystems, A Structure and Function*. F. B. Golley, Ed. Elsevier Sci. Publ. Co. Amsterdam.

Leakey, R. J. G. y J. Proctor. 1987. Invertebrates in the litter and soil at a range of altitudes on Gurung Silam, a small ultrabasic mountain in Sabah (East Malaysia). *J. Trop. Ecol.* 3(2) : 119-129.

Levings, S. C. and D. M. Windsor. 1984. Litter moisture content as a determinant of litter arthropod distribution and abundance during the dry season on Barro Colorado Island, Panamá. *Biotropica*. 16 (2) : 125-131.

Lieth, H. and M. Whittaker (eds.) 1975. *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer-Verlag. New York.

Longman, K. A. and J. Jenik. 1987. *Tropical Forest and its environment*. Longman Scientific & Technical y John Willey & Sons, Inc. New York.

Mass, J. M., C. F. Jordan, and J. Sarukan. 1988. Soil erosion nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *J. Appl. Ecol.* 25: 595-607.

Madge, D. S. 1969. Leaf litter disappearance in a tropical forest. *Pedobiología*. 5: 273-278.

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.

Martinez-Yrizar, A. 1980. Tasa de descomposición de materia orgánica foliar de especies arbóreas de selvas en clima estacional. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. México, D. F.

Martinez-Yrizar, A. 1984. Procesos de producción y descomposición de hojarasca en selvas estacionales. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.

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". 1ª. Ed. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada, A.C. Michoacán, México.

Medina, E. and H. Klinge. 1983. Productivity of tropical forest and tropical woodlands. In: Encyclopedic of plant Physiology. Lange O. L., P. S. Nobel, C. B. Osmond and H Ziegler (Eds.) New Series, Volume 12D. Springer-Verlag, New York.

Montaña, C., E. Ezcurra, A. Carrillo, and J. P. Delhoume. 1988. The decomposition of litter in grasslands of northern México: a comparison between arid and environments. *J. Of Arid Environments* 14 : 55-60.

Nye, P. H. 1961. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and soil* 13: 336-346.

O'Connell, A. M. 1987. Litter dynamics and karri (*Eucalyptus diversicolor*) forests of south-western Australia. *J. Ecol.* 75: 781-786.

Ohlson, M. 1987. Spatial variation in decomposition rate of *Carex rostrata* leaves on a Swedish mire. *J. Ecol.* 75 (4) : 1191-1197.

Ordóñez, J. A. B. 1998. Estimación de la Captura de Carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Ordóñez, J. A. B. 1999. Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México. 72 p.

Ordóñez, J. A. B. 2000. Estimación preliminar del contenido de carbono para el ejido de San Pedro Jacuaro. Instituto de Ecología, UNAM. México.

Ordóñez, J. A. B. 2001. Manual de procedimientos para la estimación de la biomasa aérea en bosques templados, matorrales, pastizales y áreas agrícolas. Instituto de Ecología, UNAM. Borrador. México.

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.

Pastrana, S. 2003. <http://club.telepolis.com/geografo/biogeografia/suelo.htm#>

Patiño, A. 1990. Variación espacial y temporal de la capa de hojarasca (mantillo) en una Selva Baja Caducifolia en Chamela, Jalisco. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D .F.

Rentería, L. Y. 1997. Biomasa y almacenes de carbono radical en tres comunidades vegetales en la costa de Jalisco, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad de México.

- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México, Limusa. México, D. F. 432 p.
- Seastedt, T. R. and D. A. Crossley Jr. 1988. Soil arthropods and their role in decomposition and mineralization processes. In: Forest Hydrology and Ecology at Coweeta. Swank W. T. & D. A. Crossley Jr. (Eds.) Springer-Verlag. New York.
- Sharma, E. and R. S. Ambasht. 1987. Litter fall, decomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus* Nepalese's plantation stands in the eastern Himalaya (India). *J. Ecol.* 75 (4): 997-1010.
- Smith, T. M., W. P. Cramer, R. K. Dixon, R. Leemans, R. P. Neilson, and A. M. Solomon, 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution*, 70, pp. 19-37
- Staaf, H. and B. Berg. 1982. Accumulation and release of plant nutrients in decomposing Scots pine needle litter. Long-term decomposition in a Scots pine forest. II. *Can. J. Bot.* 60 : 1561-1568.
- Stemberger, Y. and W. G. Whitford 1988. Decomposition process in Negev ecosystems (Israel). *Oecología (Berl)* 75: 61-66.
- Swift, M. J., O. W. Heal, and J. M. Anderson. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. *Studies in Ecology*, Volume 5. University of California Press, Berkeley.
- Swift, M., Russell-Smith, and T. Perfect. 1981. Decomposition and mineral nutrient dynamics of plant litter in a regenerating bush-fallow in subhumid tropical Nigeria. *J. of Ecol.* 69: 981-995.
- Takeda, H. 1988. A 5 years study of pine needle litter decomposition in relation to mass loss and faunal abundances. *Pedobiología* 32: 221-226.
- Tanner, E. V. J. 1980. Litter fall in montane rain forest of Jamaica and its relation to climate. *J. of Ecol.* 68: 833-848.
- Taylor, B. R. and D. Parkinson. 1988. Annual differences in quality of leaf litter of aspen (*Populus tremuloides*) affecting rates of decomposition. *Can. J. of Bot.* 66 (10) : 1940-1947.
- Tipper, R. and B. H. J. De Jong. 1998. Quantification and regulation of carbon offsets from forestry: comparison of alternative methodologies, with special reference to Chiapas, México. *Commonwealth Forestry Review* 77: 219-228.
- Vitousek, P. M. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist* 119 : 553-572.

Vogt, K. A., D. J. Vogt, E. E. Moore, B. A. Fatuga, and R. L. Edmonds. 1987. Conifer fine root and mycorrhizal root biomass in relation to stand age and site productivity in Douglas-fir forests. *J. Ecol* 75:857-870.

Witkamp, M. and B. S. Ausmus. 1976. Process in decomposition and nutrient transfer in forest systems. In: *The Role of Terrestrial and Aquatic Organisms Decomposition Processes*. Anderson J. M. & A. MacFadyen (Eds.) Blackwell Sci. Publ. Oxford.

Woods, F. W. and C. M. Gallegos. 1970. Litter accumulation in selected forests of the Republic of Panamá. *Biotropica* 2(1): 65-50.