



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN MANTILLO, EN EL BOSQUE DEL CARRICITO, JALISCO, MÉXICO”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA

LUIS ENRIQUE JIMENEZ RAMOS



Director de Tesis:

Director: C a Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz.
México, DF., 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 mantillo, en el Bosque del Carricito,
Jalisco, México".
realizado por Luis Enrique Jiménez Ramos,
con número de cuenta 8402663-5 , quien cubrió los créditos de la licenciatura en
Biología.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Tutor (a)
Propietario Biól. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz.

Propietario M. en C. Manuel Hernández Quiroz.

Propietario M. en C. Elizabeth Fuentes Romero.

Suplente Biól. Jessica Santillán Santillán.

Suplente Biól. Abraham Guadalupe Alejandre Aguilar.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F., a 28 de Noviembre
CONSEJO DEPARTAMENTAL DE BIOLOGÍA

del 2006.

Dr. Zenón Cano Santana



1. Datos del alumno

Jiménez
Ramos
Luis Enrique
Tel. 51143522
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
084026635

2. Datos del tutor

Biól.
Ordóñez
Díaz
José Antonio Benjamín

3. Datos del sinodal 1

M en C.
Hernández
Quiroz
Manuel

4. Datos del sinodal 2

M en C.
Fuentes
Romero
Elizabeth

5. Datos del sinodal 3

Biól.
Santillán
Santillán
Jessica

6. Datos del sinodal 4

Biól.
Alejandre
Aguilar
Abraham Guadalupe

7. Datos de la tesis

Estimación del contenido de carbono en mantillo, en el bosque del Carricito, Jalisco, México
50 p
2007

Dedicatoria.

A mis padres, los cuales en el transcurso del tiempo han tenido la entereza suficiente para demostrarme que a pesar de la edad las metas o los sueños pueden llegar a cumplirse.

Ellos que me forjaron una vida, un carácter y un camino en donde nunca ha sido fácil seguirlos, pero que sin embargo me han mostrado la tenacidad con la que se lucha para salir adelante y poder distinguir todo lo bueno que puedes obtener si te esfuerzas al 100 %.

A Lourdes mi esposa, quien me ha enseñado que la vida, cuando se comparte juntos; no hay ningún obstáculo que pueda detenerte.

Ella que me ha demostrado que la verdad te permite toda la libertad, que su fuerza es ilimitada, que la humildad es un don, pero que sobre todas las cosas, yo soy alguien con quien vale la pena compartir los sin sabores de la vida en matrimonio.

GRACIAS LULU TE AMO.

A mis dos tesoros, que han venido a llenar mi vida de alegrías, de recuerdos, de tristezas (dentro de mi niñez), así como también toda la dicha de poder sentir eso a lo que le llamamos amor , ternura, comprensión, protección y a todo lo que conlleva la palabra hijo.

Por ustedes y para ustedes ITZEL y NANCY

Dedicada a una persona que en especial siempre me apoyo en toda mi carrera, pero que por azares del destino ya no se encuentra entre nosotros.

Para ti GABRIELA REYES ZAVALA.

Para una persona que siempre tuvo la confianza, la amistad y el tiempo disponible para escucharme, haciéndome sentir como parte de su familia y recordarme a cada momento la necesidad de terminar esta etapa de mi vida.

JESSICA SANTILLÁN SANTILLÁN.

Y por todas esas personas que de una u otra manera han sido parte importante en mi formación: hermanos (Lorena, Jorge y Alma), quienes me apoyaron en su momento, y a todos mis amigos, los cuales se escapan de mi memoria, pero que están en mi corazón.

Agradecimientos

En primer lugar agradezco al Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz por su apoyo, dirección, amistad y cariño, ya que de no ser por el entusiasmo y profesionalismo que le caracterizan no habría logrado culminar con éxito esta tesis.

A la Biol. Jessica Santillán S., por el empuje, apoyo, cariño, amistad y buena disposición para la realización de este proyecto.

A Teresa González, Jorge Rojas, Adrián Quijada y Rene Cerritos, por las facilidades otorgadas durante la colecta en campo.

A Raúl Ahedo, quien 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 Abraham Alejandro, Erika Tapia, Samuel Palacios-Roji y José Pérez por su apoyo y comentarios para concluir este documento.

A Manuel Hernández por ayudarme a hacer un mejor documento e integrar información que estaba dejando de lado.

A José de Jesús Fuentes Junco por ayudarme a realizar el mapa del área de estudio y su cordial disposición para el desarrollo de este trabajo, por sus consejos para mejorar los mapas.

A Eduardo González, por su paciencia y consejos durante la carrera y en la vida, te quiero hermano.

A Daniel Vargas, por estar siempre a mi lado, por tus sabios consejos e incondicional amistad ¿que más puedo decirte? Lo demás lo seguimos cultivando compadre.

A Manuel Ramos por sus invaluable consejos que durante la vida de estudiante, me supo dar y por su cariño que me sigue brindando, gracias Tío.

A Luis Viadero porque nunca dejaste de creer en mí y por todo lo que me enseñas con tu amistad y me recordaste que si existe DIOS.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a todo el personal docente, técnico y administrativo de la Facultad de Ciencias, a la Comunidad Científica y a la sociedad en su conjunto, quienes me brindaron las facilidades necesarias para ampliar mis horizontes de vida a cada instante, mil gracias.

Índice	Pág.
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Cambio Climático y Calentamiento global.	4
2.2 Atmósfera, efecto invernadero y algunos de los GEI mas 1importantes.	5
2.3 Contribución de México a la emisión de GEI.	7
2.4 El carbono y su ciclo en la naturaleza.	7
2.4.1 El ciclo geológico del carbono.	8
2.4.2 El ciclo biológico del carbono.	9
2.4.3 El carbono en ecosistemas forestales	10
2.5 Procesos podosfericos relacionados al ciclo del carbono.	11
2.5.1 Los bosques como reservorios de carbono	12
2.6 La biomasa.	12
2.7 Los suelos y el carbono.	13
2.8 Principales tipos de mantillo en suelos forestales.	14
2.8.1 Génesis del mantillo.	16
2.8.2 Acumulación del mantillo.	16
2.8.3 Variación temporal del mantillo.	18
2.8.4 Procesos de descomposición del mantillo	18
2.8.5 Factores que determinan la tasa de descomposición del mantillo.	19
3. OBJETIVOS.	22
4. ÁREA DE ESTUDIO	22
4.1 Ubicación del Área de Estudio y limites geograficos.	22
4.2 Antecedentes del Area	24
4.3 Geología	25
4.4 Edafología (Tipos de Suelo)	27
4.5 Hidrología.	27
4.6 Clima	27
4.7 Vegetación.	28
4.8 Fauna.	30
5. METODOLOGÍA	31
5.1 Procesamiento de muestras.	32
5.2 Integración de la base de datos.	35
5.3 Análisis de los datos	36
6. RESULTADOS.	37
7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.	39
8. REFERENCIAS.	41

Índice de cuadros	Pág.
Cuadro 1. Características de los principales GEI según Goudie, 1990	7
Cuadro 2. Principales procesos pedosféricos que influyen en el contenido del carbono orgánico del suelo.	11
Cuadro 3. Numero de árboles por genero con diámetros mayores y menores de 30 cm. de DAP, en cada uno de los 8 sitios.	37
Cuadro 4. Análisis de varianza entre cuadrante y entre sitio	38
Cuadro 5. Concentraciones de carbono en mantillo registradas	39
Cuadro 6. Estimación del carbono en MgC/ha por cuadrante y por sitio	39
Cuadro 7. Comparación del contenido de carbono en mantillo en diferentes estudios de caso	42

Índice de figuras

Figura 1. Efecto invernadero	6
Figura 2. Esquema del ciclo global del carbono.	8
Figura 3. Flujo de carbono y almacenes de carbono.	10
Figura 4. Tipos de mantillo en suelo.	17
Figura 5. Localización De el Carricito.	21
Figura 6. Zona Del Carricito.	23
Figura 7. Topografía del Carricito.	26
Figura 8. Superficie del Carricito.	31
Figura 9. Área de muestreo (cuadrantes y subcuadrantes)	32
Figura 10. Localización de los sitios de muestreo en el Carricito	36
Figura 11. Contenido de carbono (MgC/ha) en el mantillo en los sitios de el Carricito, Jalisco.	40
Figura 12. Carbono contenido por sitio en MgC/ha.	40

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 en el bosque del Carricito en Jalisco, México que se desarrolla como una contribución en el entendimiento de este problema, a fin de cuantificar el carbono almacenado en el mantillo, capa delicada y poco estudiada de materia orgánica que cubre al suelo.*

El método con el que se realizó esta investigación presenta un diseño jerárquico, estratificado con distribución al azar, el cual esta complementado para la determinación de carbono modificado por Ordóñez y colaboradores de 1998, basándose en el diseño original de Brown y Roussopoulous de 1974.

Los contenidos de carbono registrados en el mantillo de los ocho sitios, presenta valores que van de 0.1 a 12.26 MgC/ha, con un promedio de 4.7 MgC/ha; la concentración promedio de carbono fue de 37% con mínimos de 30% y máximos de 40% de la biomasa del mantillo; se encontraron diferencias significativas en la cantidad de biomasa contenida en el mantillo por cuadrante y por sitio debido posiblemente a la composición y estructura de la masa forestal y de otros factores como la geomorfología y a la producción de hojarasca derivada de las diferentes calidades de sitios. Por lo tanto, el mantillo en su carácter de almacén dinámico, permite que se cumplan los procesos pedosféricos necesarios para convertirse eficientemente en un almacén de carbono.

Palabras clave: Mantillo, Carbono, Contenido de carbono, El Carricito Jalisco.

1. INTRODUCCIÓN

El carbono es un elemento principal en los procesos biológicos y es el más importante en la estructura de los compuestos orgánicos. La principal ruta de incorporación del Carbono a los ecosistemas es a través del proceso de la fotosíntesis en las plantas, las cuales incorporan al Carbono a partir del CO atmosférico en moléculas de azúcar. Los compuestos orgánicos producidos por las plantas entran en la cadena trófica de los heterótrofos consumiendo el tejido vegetal vivo por los herbívoros, o bien pasa a la cadena trófica de los detritívoros del suelo en forma de tejido muerto (Gos *et al.*, 1978). En los ecosistemas terrestres se tiende a un equilibrio entre la fijación de CO y su liberación por respiración de plantas, animales y microorganismos.)

Las grandes áreas forestales que habían servido para subsistir y ayudar al avance de la humanidad están cambiando en su uso y se están degradando de forma irreversible. Se reconoce que este recurso es finito y que se requiere de un manejo sustentable y prudente para nuestra supervivencia, también se está incrementando su aprecio por el valor estético, recreativo y hasta espiritual que representa, lo que generalmente entra en conflicto contra objetivos económicos, esto nos da la oportunidad de reflexionar acerca de la condición actual sobre los recursos de nuestro planeta y determinar cuales son los eventos que contribuyen a su situación actual. (FAO, 2000; en Palacios-Roji, 2007)

La humanidad se encuentra en un punto crucial de desarrollo, nunca antes los ecosistemas del planeta se habían visto sometidos a una presión tan fuerte debido a la presencia humana y bien sabemos que nuestra especie tiene la capacidad de hacer cambiar el ambiente. La acelerada disminución de la cubierta forestal y la degradación de los bosques en México durante los últimos 35 años representan serios problemas que se expresan en múltiples niveles de deterioro regional (Álvarez-Icaza *et al.*, 1993; Mas-Porrás, 1992; Caro, 1987; Maser *et al.*, 1995). Una de las consecuencias de la deforestación y la degradación forestal es la disminución en la cantidad de carbono fijado por la biomasa forestal en la región, y el consecuente aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Rosete *et al.*, 1997).

El rápido aumento en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero entre ellos el CO₂ 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. 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 (Ordóñez, 1999).

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 C en sus diferentes almacenes como es el mantillo.

La cuantificación de C en el mantillo ayudará a entender los procesos por los cuales ésta delicada y poco estudiada capa del suelo del bosque contribuye a la fijación del mismo en un reservorio estable y algunas de sus relaciones.

La mayor parte de los procesos productivos, el transporte y los sistemas domésticos dependen de la energía derivada de los combustibles fósiles. Una consecuencia del uso de los combustibles fósiles es la emisión de óxidos de carbono, principalmente dióxido de carbono (Gay y Martínez, 1995). Otro factor de importancia en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera es el cambio en el uso del suelo. La deforestación anual se calcula en 17 millones de hectáreas a nivel mundial, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 MgC/año; es decir cerca del 20% del total de las emisiones antropogénicas (Montoya *et al.*, 1995).

La vegetación asimila dióxido de carbono atmosférico, por medio del proceso fotosintético. Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie de la Tierra. Proteger los bosques y suelos naturales que almacenan carbono. Cuando se destruye el bosque, entre 50 y 400 MgC/ha pueden ser liberadas a la atmósfera. Conservar los almacenes de carbono puede ser un camino válido en el largo plazo. Como la protección de un área forestal puede inducir la presión de explotación en otra, se requieren esquemas integrados de manejo de recursos, enriquecidos con esquemas de evaluación de proyectos para validar dicha protección (Montoya *et al.*, 1995).

2. ANTECEDENTES

2.1. *Cambio climático y Calentamiento global*

La causa fundamental del calentamiento global es la emisión de los gases emitidos por las actividades humanas (antropogénicas) que alteran la composición original de la atmósfera. (IPCC, 1995 en Palacios-Roji, 2007). Una de las consecuencias de este cambio climático es el calentamiento global, producido por el incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre los que se destacan son: el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el bióxido de azufre (SO_2) y los clorofluorocarbonos (HFC). De estos, el que predomina es el CO_2 y sus concentraciones atmosféricas se han elevado en un 30%, desde 1860 (de 280 a 360 partes por millón) hasta la fecha (Ordóñez, 2000).

El balance global del Carbono es estable en ecosistemas terrestres maduros, pero la liberación de grandes cantidades de Carbono previamente almacenado causa en la fitomasa y en la materia orgánica del suelo (Aber y Melillo, 1991) un incremento acelerado de la concentración de Carbono que ha sido señalada como uno de los componentes mas importantes del cambio climático global (Vitousek, 1994)

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2001) estima que un cambio en las emisiones de gases de efecto invernadero que duplique las concentraciones de CO_2 con respecto al nivel preindustrial daría como resultado un incremento de temperatura de 1.5 a 3.5 °C, este cambio de temperatura provocaría, a su vez:

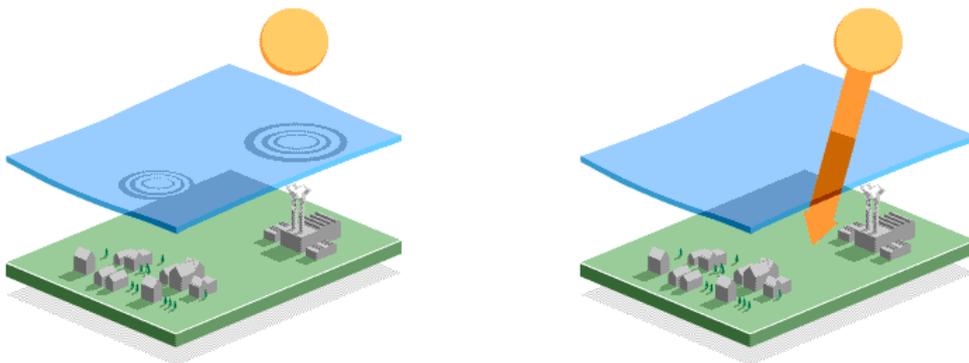
1. Cambios en los patrones mundiales de precipitación pluvial, con diferencias regionales significativas.
2. Elevación del nivel del mar de 0.2 a 0.6 metros, tanto por la expansión térmica de los océanos como por el derretimiento parcial de glaciares en las montañas y de la capa de hielo en las regiones polares, como es el caso de la Antártica, para la que se estima un desprendimiento de 200 Km. de masas de hielo.
3. Y cambios en la humedad del suelo al aumentar la evaporación del agua.

Estos tres factores afectarán directamente todas las actividades humanas que dependen de la precipitación, la temperatura, la humedad y de los cuerpos de agua, provocando crisis de tipo social, económico y político (Ordóñez, 1999).

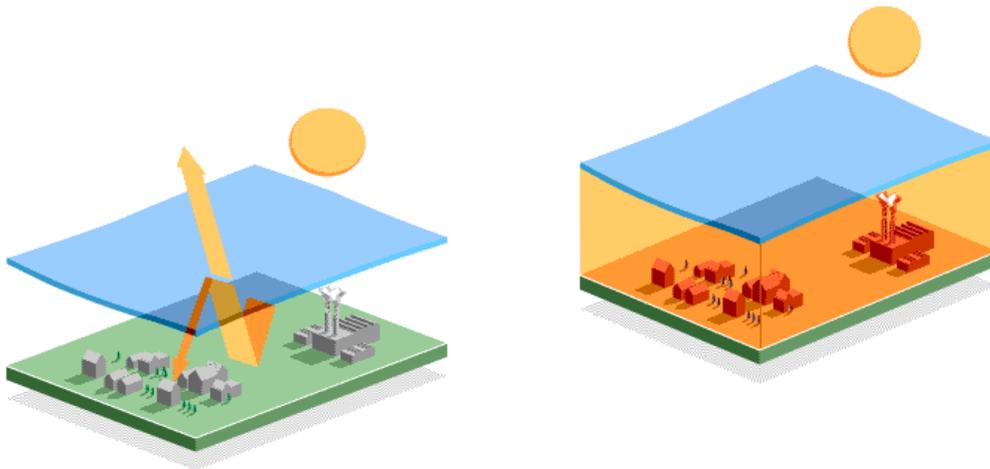
2.2 *Atmósfera, efecto Invernadero y algunos de los GEI mas importantes.*

Nuestro planeta está rodeado por una delgada capa de gases denominada atmósfera, compuesta por nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.3%), dióxido de carbono (0.03%) y otros gases en cantidades menores como helio, neón y xenón. Además contiene aerosoles (partículas) en cantidades variables dependiendo de su origen y concentración, así como vapor de agua en concentraciones fluctuantes. Este último es responsable de gran parte de los fenómenos meteorológicos (Salati, 1990).

El efecto invernadero (Figura 1) se debe a que ciertos gases en la atmósfera permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras que se absorbe y reemite parte de la radiación infrarroja al espacio exterior. Cuanto mayor es la concentración de los GEI, menor es la cantidad de radiación infrarroja que el planeta emite libremente al espacio exterior. De esta manera, al aumentar la concentración de GEI, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del planeta. (Ordóñez, 1998),



1. El vapor de agua, el CO₂ y el CH₄ forman una capa natural en la atmósfera terrestre que retiene parte de la energía proveniente del Sol. El uso de combustibles fósiles y la deforestación ha provocado el aumento de las concentraciones de CO₂ y CH₄, además de otros gases, como el óxido nitroso, que aumentan el efecto invernadero.
2. La superficie de la Tierra es calentada por el Sol. Pero ésta no absorbe toda la energía sino que refleja parte de ella de vuelta hacia la atmósfera.



3. Alrededor del 70% de la energía solar que llega a la superficie de la Tierra es absorbida por la superficie terrestre y el 30% restante es reflejado por la tierra y la atmósfera. Pero parte de la radiación infrarroja es retenida por los gases que producen el efecto invernadero y vuelve a la superficie terrestre.

4. Como resultado del efecto invernadero, la Tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para hacer posible la vida sobre el planeta. De no existir el fenómeno, las fluctuaciones climáticas serían intolerables. Sin embargo, una pequeña variación en el delicado balance de la temperatura global puede causar graves estragos.

Tomado de la BBC de Londres, 2005.

Figura. 1 Efecto Invernadero

Los gases que incrementan el efecto invernadero de acuerdo con autores como Schneider, 1989; Houghton y Woodwell, 1989; Goudie, 1990; Dixon *et al.*, 1994 y Masera, 1995 y que son reconocidos por el Protocolo de Kioto son el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6). (Ordóñez, 1998.) Estos gases provienen de diferentes fuentes que pueden ser naturales o antropogénicas, en el cuadro 1 se proporciona información sobre los principales GEI, la fuente antropogénica que los genera, la concentración actual estimada en el planeta, la concentración que alcanzó en la era preindustrial y su tiempo de residencia en la atmósfera. (Goudie, 1990)

Cuadro 1. Características de los principales GEI según Goudie, 1990.

Gas	Fuentes antropogénicas	Concentración (ppb)*		Incremento anual de la concentración	Tiempo de residencia en la atmósfera (años)
		Preindustrial	Actual		
CO ₂	Uso de combustibles fósiles y leña, deforestación	275,000	353,000	0.5%	50-200
CH ₄	Cultivo de arroz, ganado, tiraderos de basura, uso de combustibles fósiles	800	1,720	0.9%	10
N ₂ O	Fertilizantes químicos, deforestación, uso de leña	285	310	0.2%	150-180
CFC	Aerosoles, refrigerantes, aislantes	0	3	5.0%	65-130

*Partes por billón

2.3 Contribución de México a la Emisión de GEI.

En México, la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones Gases Efecto Invernadero ha hecho posible la identificación y cuantificación de las principales fuentes y sumideros de GEI del país, lo cual es básico para la definición de cualquier política relacionada con el cambio climático. El inventario proporciona las bases para el desarrollo de una metodología completa y detallada para estimar las fuentes y sumideros de GEI y proporciona también un mecanismo común y consistente que le permite a todos los países firmantes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático estimar sus emisiones y comparar las contribuciones relativas al cambio climático de las diferentes fuentes de emisión de los GEI (Estrategia Nacional de Acción Climática; 2000).

2.4 El Carbono y su ciclo en la naturaleza

El carbón es el cuarto elemento de mayor abundancia en el universo y es absolutamente esencial para la vida terrestre. En realidad, el carbón constituye la definición propia de la vida y su presencia o ausencia ayuda a definir si una molécula es considerada orgánica o inorgánica (Harrison, 2003). El carbono se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza: en el agua en forma de carbonatos disueltos, en el aire como dióxido de carbono ó anhídrido carbónico y en la tierra formando parte de las rocas calizas. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de los procesos metabólicos realizados durante su desarrollo y son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes para la vida (Smith *et al.*, 1993).

El movimiento del C en las diferentes capas que forman la Tierra como la atmósfera, los océanos, la biosfera y la pedósfera está descrito en el ciclo del carbono (Figura 2.)

Este ciclo consiste de varios bancos de almacenamiento de C (texto negro) y los procesos por los cuales varios de estos bancos o mantos intercambian C (las flechas moradas y los números). Si la cantidad de carbón que penetra en un manto es mayor de la que sale, el manto está considerado un sumidero neto de C. Si la cantidad de carbón que sale de un manto es mayor de la que entra, el manto está considerado una fuente neta de C (Jaramillo, 1992).

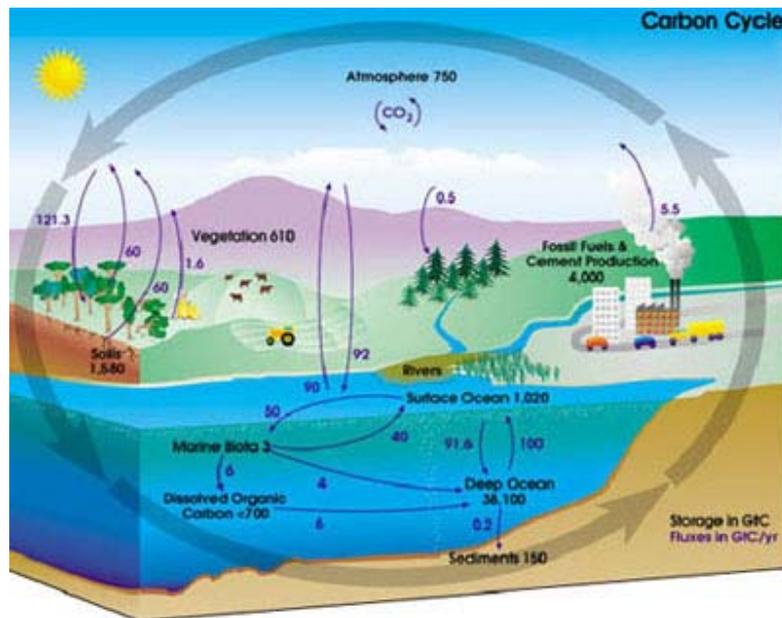


Figura 2. Esquema del ciclo global del carbono. Los mantos (en negro) representan gigatoneladas ($1\text{Gt} = 1 \times 10^9$ Toneladas) de carbón. Los flujos (en morado) son Gt de carbón por año. Ilustración tomada del Earth Science Enterprise de la Nasa (Harrison, 2003).

El ciclo global del carbono, es uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes y puede ser dividido como su nombre lo dice en componentes geológicos y biológicos. El ciclo del carbono geológico funciona en una escala temporal de millones de años, mientras que el ciclo biológico funciona en una escala temporal más corta. (Harrison, 2003).

2.4.1 El Ciclo Geológico del Carbono.

Desde la formación de la Tierra, las fuerzas geológicas han actuado paulatinamente sobre el ciclo global del carbono. En períodos de larga duración, el ácido carbónico se combina poco a poco con minerales en la superficie de la Tierra, éstas reacciones forman carbonatos que posteriormente producto del intemperismo desembocan en el océano donde terminan sedimentándose en el fondo, después por los procesos de subducción, estos sedimentos son empujados bajo los márgenes continentales y por razón de las fuerzas tectónicas las rocas con altas concentraciones de carbono, se calientan y eventualmente se funden para volver a la superficie transformado en CO_2 . De esta manera regresa el carbono a la atmósfera. El levantamiento tectónico también puede exponer la roca caliza enterrada antiguamente. El intemperismo, la subducción

y la actividad volcánica controlan las concentraciones atmosféricas de CO₂ a través de largos períodos de tiempo (Harrison, 2003).

2.4.2 *El Ciclo Biológico del Carbono.*

La biología ocupa un papel importante en el movimiento del carbón entre la tierra, el océano y la atmósfera a través del proceso de fotosíntesis y respiración. El ciclo del carbono comienza con la fijación del CO₂ atmosférico a través de organismos fotosintetizadores. En este proceso el CO₂ y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea que pasan a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía al organismo y el CO₂ producto del metabolismo se libera a través de las hojas o raíces en el caso de las plantas. Otra parte es consumida por los animales, que también liberan CO₂ en su respiración. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en CO₂ y CH₄ y regrese a la atmósfera (Schimel, 1995; Smith *et al.*, 1993^a).

La fijación de carbono por bacterias y animales es otra manera de capturar el CO₂ de la atmósfera, aunque cuantitativamente menos importante que la fijación de carbono por las plantas. Cuando los organismos vegetales son comprimidos por deposición, no son atacados por las bacterias, sino que suceden una serie de cambios químicos para formar turba, luego carbón pardo o lignita y finalmente carbón. Los cuerpos de algunos organismos marinos pueden tener cambios semejantes y formar a largo plazo petróleo (Ordóñez, 1999).

En el océano, algunos elementos del fitoplancton y los corales usan carbón para producir conchas de carbonato de calcio (CaCO₃) las cuales se sedimentan en el fondo del océano cuando muere el organismo que la porta, estos lodos pueden comprimirse a medida que pasa el tiempo y eventualmente se transforman en roca caliza. La materia orgánica que no contiene calcio, es la que se transforma en combustible fósil (Harrison, 2003).

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).

2.4.3 El Carbono en Ecosistemas Forestales.

Como se dijo antes el CO_2 atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis. Este gas participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer incrementa su biomasa. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, que al degradarse se incorporan paulatinamente y dan origen al humus, que aporta nuevamente CO_2 a la atmósfera. Simultáneamente, los troncos al ir aumentando su diámetro y altura alcanzarán un tamaño aprovechable en términos comerciales. (Ordóñez, 1998).

Durante el tiempo en que el CO_2 se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera, se considera almacenado (Figura 3). En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica o por la combustión de la biomasa) el CO_2 fluye para regresar al ciclo del carbono (Ordóñez, 1998 y 1999).

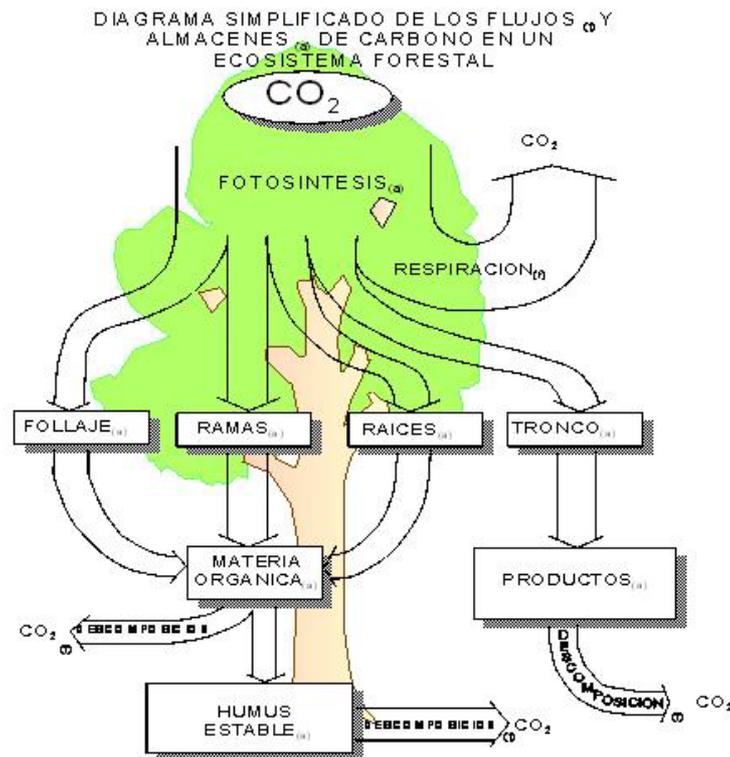


Figura 3. Flujos de CO_2 y almacenes de carbono en un ecosistema forestal. (Ordóñez, 1999).

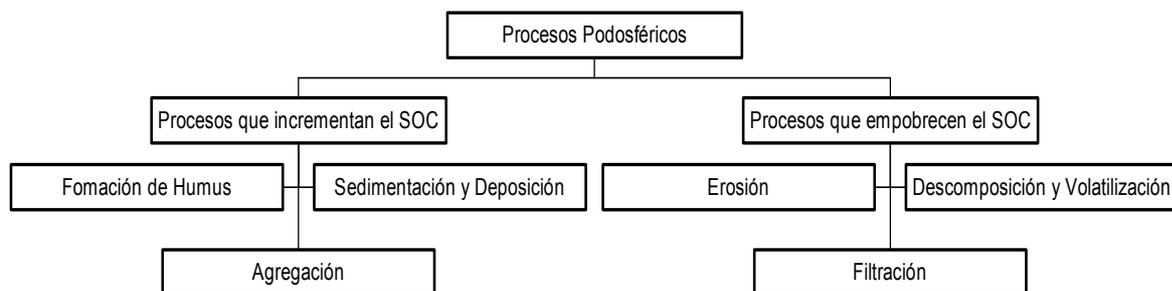
2.5 Procesos Podosféricos Relacionados al Ciclo del Carbono.

La podósfera se haya en la interfase entre la litosfera y la atmósfera y mide de uno a dos metros de profundidad (probablemente sea más profunda en los trópicos) en la corteza de la superficie terrestre. La podósfera sostiene la mayor parte de la actividad biótica dentro de los ecosistemas terrestres e interactúa con la atmósfera, la litosfera, la biosfera y la hidrosfera. Estas interacciones influyen los ciclos biogeoquímicos de los principales nutrientes elementales. Los procesos interactivos con la atmósfera permiten el intercambio de gases y energía entre los suelos y la atmósfera. Los mecanismos de interacción entre la litosfera y la podósfera incluyen la filtración de nutrientes y la formación de nuevo suelo. Los ciclos de los elementos y la alteración de la podósfera (provocada por la fauna del suelo) son procesos interactivos entre la podósfera y la biosfera.

Existen dos tipos de carbono en los reservorios de la podósfera, el Carbono Orgánico del Suelo (SOC, por sus siglas en inglés Soil Organic Carbon) y el Carbono Inorgánico del Suelo (SIC, Soil Inorganic Carbon). La podósfera juega un papel significativo influenciando la composición gaseosa de la atmósfera. Sin embargo, la magnitud en la contribución total a la fuente atmosférica y las tasas recientes y pasadas del flujo de C entre la podósfera y la atmósfera no son bien conocidas (Golchin, 1994).

Poco, si no es que nada, se conoce acerca de la dinámica del SIC con relación al uso de suelo. Sin embargo, se comienzan a entender las dinámicas y los factores que afectan al SOC. Predominantemente los procesos de la podósfera que afectan las dinámicas del SOC pueden ser agrupadas en dos categorías: 1) el SOC enriquecido y 2) los eventos de degradación del SOC (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales procesos podosféricos que influyen en el contenido del carbono orgánico del suelo. (Tomado de Lal *et al.*, 1998).



Los procesos que enriquecen el contenido del SOC son la producción de biomasa de las plantas, la formación de humus, los agregados y los depósitos de sedimentos. Por otra parte los procesos que degradan el contenido del SOC son la erosión de los suelos, los escurrimientos y la materia orgánica en descomposición. Este es el balance neto entre los procesos de acumulación y degradación del SOC como los influenciados por el uso de suelo y los factores antropogénicos, que determinan el reservorio neto de SOC en la podósfera. (Lal *et al.*, 1998).

2.5.1 *Los Bosques como Reservorios de Carbono.*

La superficie forestal estimada en la Tierra es de 4.1×10^9 ha, donde las áreas naturales protegidas abarcan el 2.3%, menos del 10% de las áreas que se encuentran bajo manejo. Aproximadamente el 37% de carbono se encuentra en latitudes bajas (0° a 25° lat.), 14% en las medias (25° a 50° lat.) y 49% en las altas (50° a 75° lat.). Es por esto que Dixon *et al.* (1994) afirman que la proporción de carbono capturado por la vegetación y suelo difiere en cuanto a su ubicación geográfica respecto de su latitud. Dos terceras partes del carbono en ecosistemas forestales se encuentran contenidas en el suelo.

Los biomas boreales circumpolares tienen una cobertura de 2×10^9 ha en el hemisferio norte y contienen 800 GtC en reservas de carbono contenido en la biomasa, detritus, suelo y turba. En los ecosistemas forestales boreales, la biomasa, el detritus, la turba (con 419 GtC) y el suelo (con 290 GtC) contienen en su totalidad 709 GtC (Apps *et al.*, 1993). Los bosques tropicales almacenan en la vegetación y el suelo 159 GtC y 216 GtC respectivamente, para un total de 375 GtC (Brown *et al.*, 1993; Ordóñez, 1998).

Los árboles en particular, almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. (Ordóñez *et al.*, 1998; Apps *et al.*, 1993; Brown *et al.*, 1993; Dixon *et al.*, 1994 y Ordóñez, 2000)

Sin embargo, una vez que el bosque ha alcanzado su madurez, llega a un balance entre los procesos de respiración, oxidación y fotosintético, por lo que la captura neta de carbono se reduce. A largo plazo, el carbono capturado tanto en los ecosistemas forestales como en los sistemas agroforestales puede alcanzar entre 80 y 350 MgC/ha (Masera, 1995; Ordóñez, 1998.) Por lo tanto, los bosques juegan un papel muy activo en el intercambio de CO_2 entre la biosfera y la atmósfera, siendo esto un elemento clave en el ciclo global del carbono (Ordóñez *et al.*, 1998; Ordóñez, 2000).

2.6 *La biomasa.*

Se define a la biomasa como el 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). Por otra parte Garcidueñas en 1987 propone que es la 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. Mientras que la enciclopedia Encarta en su versión del año 2000, se refiere a la biomasa como toda la materia orgánica generada por los procesos biológicos de los cinco reinos (animal, vegetal, *fungi*, protista y monera).

Sus principales características físicas y químicas están en 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 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).

2.7 *Los suelos y el carbono.*

El suelo, definido como el conjunto de materia no consolidada en la superficie terrestre que resulta de la interacción a través del tiempo, el clima, material parental, organismos y relieve (Juma, 1999); contiene dos principales tipos de carbono: carbono inorgánico, presente principalmente en forma de carbonatos y carbono orgánico (Noble *et al.*, 2000).

El carbono inorgánico participa en el ciclo geoquímico del carbonato-silicato y es responsable de cerca del 80% del intercambio de CO₂ entre la superficie y la atmósfera en una escala de tiempo de 500,000 años (Schlesinger, 1991; Jaramillo, 1994); no obstante, en la dinámica del carbono en los ecosistemas forestales y en los cambios históricos de uso de suelo es mucho menos móvil (Schlesinger, 1991), por lo que la atención se concentra en el carbono orgánico del suelo que representa entre el 5 y 10% de la composición total del suelo.

El carbono orgánico del suelo está presente en distintas formas (García-Oliva y Ordóñez, 1999; García-Oliva, 2001): La Fracción ligera, que a su vez está compuesta por: *i*) Material orgánico particulado (MOP), *ii*) la fracción ligera (no-húmica) del C y *iii*) la biomasa microbiana.

La Fracción húmica. Esta clasificación del carbono orgánico del suelo, está basada en la susceptibilidad a la descomposición microbiana. Las diferentes proporciones en cada una de las fracciones permiten entender la naturaleza de la dinámica del carbono.

La fracción ligera y la biomasa microbiana son formas lábiles o activas del carbono orgánico del suelo y en ellas se encuentra la mayor concentración de carbono que se recicla dentro del sistema, las formas más móviles y de mayor intercambio dentro del sistema del suelo.

Dentro de la materia orgánica particulada del suelo se distinguen el mantillo y la biomasa radicular. Las sustancias orgánicas que pertenecen a la fracción no húmica

del carbono son compuestos metabolizables que incluyen: Carbono en disolución, enzimas y exudados vegetales, entre otros.

La biomasa microbiana representa del 1 al 5% del carbono orgánico total del suelo, es responsable de casi toda la actividad biológica en el suelo; la actividad microbiana realiza la transformación del carbono de la siguiente manera:

- Reintroducción a la atmósfera como CO₂, resultado de la respiración microbiana.
- Formación de compuestos orgánicos más simples, aprovechables por otras poblaciones microbianas.
- Producción de biomasa y compuestos microbianos como enzimas y otros metabolitos.
- Formación de material húmico estable por medio de uniones con compuestos inorgánicos del suelo.

La fracción húmica del carbono constituye el 95% de este elemento en la materia orgánica del suelo es la fracción químicamente más estable y contiene formas lábiles y recalcitrantes como huminas, ácidos húmicos y fúlvicos, dependiendo de su distribución dentro del suelo y sus características químicas (Oliva y García-Oliva, 1998).

Según FAO (2002), el mayor porcentaje del carbono del suelo se encuentra en las fracciones húmicas, pero las otras fracciones activas son las encargadas de los flujos dentro del suelo. Las existencias de carbono orgánico en los suelos representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición. En condiciones aerobias, gran parte del carbono que ingresa al suelo es lábil y solo una pequeña fracción (ca. 1%) del que ingresa (55 GtC año⁻¹) se acumula en la fracción húmica estable (0.4 GtC año⁻¹).

Los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia variando de uno a pocos años, dependiendo la composición bioquímica, a décadas (compuestos como la lignina) o a más de mil años fracción húmica o estable; (tomado de: García-Oliva, 2001)

Los depósitos de materia orgánica del suelo se encuentran en equilibrio dinámico con factores externos como el clima, pero pueden ser fuertemente modificados por los cambios en el uso del suelo (Lal, 2003).

Mientras que los factores del suelo y los procesos pedogénicos son importantes para explicar el almacenamiento de carbono o los reservorios en largos periodos, los cambios de cobertura vegetal o uso de suelo determinan los cambios en la captura de carbono en periodos más cortos (Aviña, 2006).

2.8 Principales tipos de mantillo en suelos forestales.

El papel crítico que juega la estructura de los suelos en un amplio rango de procesos fue reconocido por algunos investigadores hace más de 150 años, de ahí existen revisiones contemporáneas que resumen esas investigaciones utilizando varios tipos

de clasificación (Harris *et al.*, 1966; Oades, 1984; Dexter, 1988; Kay, 1990; Horn *et al.*, 1994).

Autores como Patiño en 1990 definen al mantillo como una 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, microfauna, mesofauna y macrofauna del suelo) que llevan a cabo alteraciones físicas y químicas de los residuos orgánicos, modificando así su calidad y abundancia (Patiño, 1990 en Pérez, 2006).

Vitousek (1982), dice que es la hojarasca depositada sobre la superficie del suelo y que 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.

Mientras que la Enciclopedia Encarta del año 2000 explica que 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; Pérez, 2006).

El 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 calcífica 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).

2.8.1 *Génesis del Mantillo.*

El mantillo proviene y está formado por restos de biomasa (hojas, estructuras reproductivas, frutos, ramas y animales) que se desprenden de las plantas y se acumula en la superficie del suelo (Barbour *et al.*, 1980; citado en Patiño, 1990) 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; Staaf y Berg, 1982; O' Connell, 1987; Taylor y Parkinson, 1988; Babbar y Ewel, 1989; citado en Patiño, 1990; Pérez, 2006).

Anderson y Swift en 1979 y Patiño en 1990 encontraron que la descomposición del mantillo es regulada por tres grupos de variables:

- a) La naturaleza de la comunidad degradadora, que incluye a los organismos que integran la microfauna y la macrofauna del suelo que incluye principalmente animales invertebrados.
- b) Las características intrínsecas de los componentes del mantillo, como son su dureza, contenido de lignina, contenido de los nutrientes, compuestos secundarios y tamaño de las partículas que regulan la tasa de descomposición, dependiendo si son hojas o ramas principalmente.

Debe tomarse en cuenta los factores físicos del medio, ya que los cambios de estación, las variantes de temperatura y la humedad influyen en la tasa de descomposición de los materiales del manillo (Patiño, 1990; Pérez, 2006).

2.8.2 *Acumulación del mantillo.*

Para conocer la acumulación de C en el mantillo y su comportamiento, se describirá primero de donde procede y esto se remite a conocer el Flujo de Energía (Expuesto por Patiño, 1990 en Pérez, 2006).

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

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).

2.8.3 Variación Temporal del Mantillo.

Las variaciones temporales del mantillo están relacionadas con el cambio de estaciones, de la caída de hojarasca y de su descomposición, ambas afectadas por las modificaciones en 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 marcadas (Ogawa, 1978; 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/año¹ (Patiño, 1990).

2.8.4 Procesos de Descomposición del Mantillo.

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; Lal *et al.*, 1998; 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; Patiño, 1990).

- c) El 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).

2.8.5 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; Patiño, 1990).

a) *Por la naturaleza de la comunidad degradadora.*

Los organismos que integran la microfauna del suelo son bacterias, hongos y animales invertebrados principalmente (Patiño, 1990). Resulta difícil investigar las interacciones dentro y entre estos grupos, debido a la complejidad de las comunidades sin embargo, (Crossley y Hoglund, 1962) usando muestras de hojas contenidas en bolsas de malla, determinaron con precisión la variación estacional de poblaciones de microartrópodos con relación al contenido de humedad y a la secuencia de aparición de especies degradadoras durante la descomposición. (Benhard-Reversat, 1972 en Patiño, 1990; Anderson y Swift, 1982), 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 microartrópodos 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 macroartrópodos es más importante en la descomposición. Por otra parte, (Nye, 1961; 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 1983; Patiño, 1990).

Patiño en 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.

b) Por las características intrínsecas de los componentes del mantillo.

Diferentes autores (Edwards, 1977; Anderson y Swift, 1982; Swift *et al.*, 1981; 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 en 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, aún 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 (Staaf *et al.*, 1982; Takeda, 1988), sugieren que la lignina es el factor limitante en los estados tardíos de descomposición del mantillo (Patiño, 1990).

c) Por los factores físicos del medio.

De acuerdo con los resultados de Seastedt y Crossley en (1988), la estacionalidad de la temperatura y la humedad influyen en la tasa de descomposición, mientras que otros autores como Sharma y Ambasht en 1987 y Stemberger y Whitford en 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* en 1988 (tomado de Patiño, 1990) 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; Patiño, 1990). Blair y Crossley (1988) encontraron en un bosque al sur de los Apalaches que la combinación de temperaturas extremas altas y la variabilidad en la humedad crearon un microclima subóptimo para la comunidad degradadora y por lo tanto disminuyó la tasa de descomposición. Por otro lado, Levings y Windsor (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, milípodos) 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 influye en la descomposición de la materia orgánica. (Woods y Gallegos en 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).

Recientemente, se ha reconocido que los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental constituyen un ecosistema muy importante (Lammertink *et al.*, 1997). En particular, el bosque de El Carricito, es el bosque de altura más grande sin caminos y sin habitantes en toda la Sierra Madre Occidental. Se localiza en la parte norte del Estado de Jalisco en La Sierra de Bolaños (Figura 1). Incluye el remanente del extremadamente raro bosque de mesas, en cuatro fragmentos dispuestos a lo largo de la cresta más alta de la Sierra. El área total de este hábitat altamente amenazado es de casi 21 km². Se encuentran pinos (*Pinus durangensis*, *P. michoacana*, *P. pseudostrobus*) de hasta 1.5 m de diámetro a la altura del pecho (DAP) en los parches de bosque antiguo.

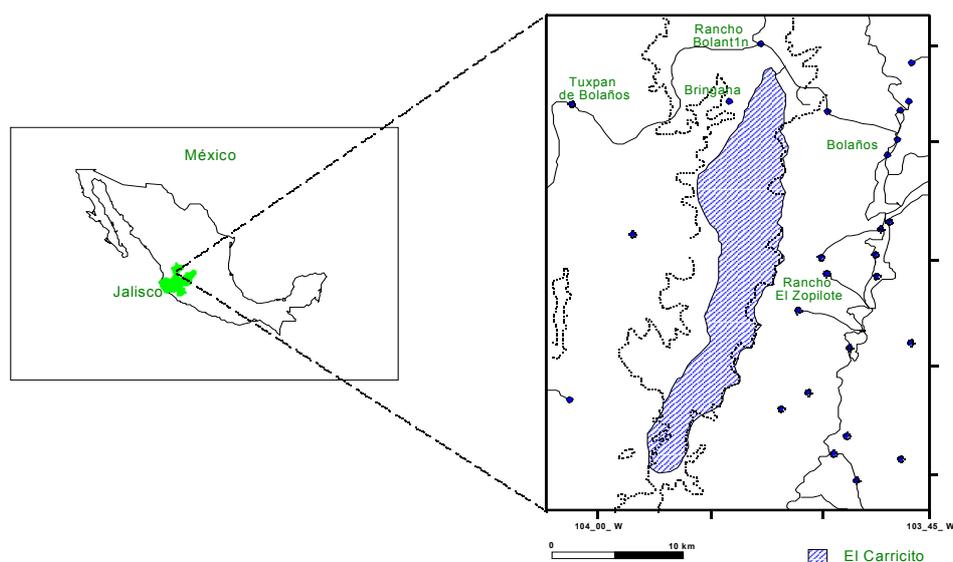


Figura 5. Localización de El Carricito en la Sierra Madre Occidental de México.

3. OBJETIVOS

1. Cuantificar el contenido de carbono en mantillo en el bosque del Carricito, Jalisco, México.
2. Comparar las diferencias del contenido carbono en el mantillo en los diferentes sitios de colecta en el bosque del Carricito, Jalisco, México.

4. Área de Estudio

4.1 Ubicación del área de estudio y límites geográficos.

El Carricito se encuentra en el municipio de Bolaños (figura 6) noreste del Estado de Jalisco en la Sierra Madre Occidental, en las siguientes coordenadas 104° W y 21'45'' N, comprende 14,000 hectáreas de la Sierra de Bolaños (INEGI, 1972). El área núcleo abarca 10,000 hectáreas y 4,000 hectáreas el área de amortiguamiento, que incluyen bosques de pino, encino, pino-encino y selva baja caducifolia. Las ciudades más cercanas son Guadalajara a 300 Km., Zacatecas a 220 Km. y Tepic a 200 Km.

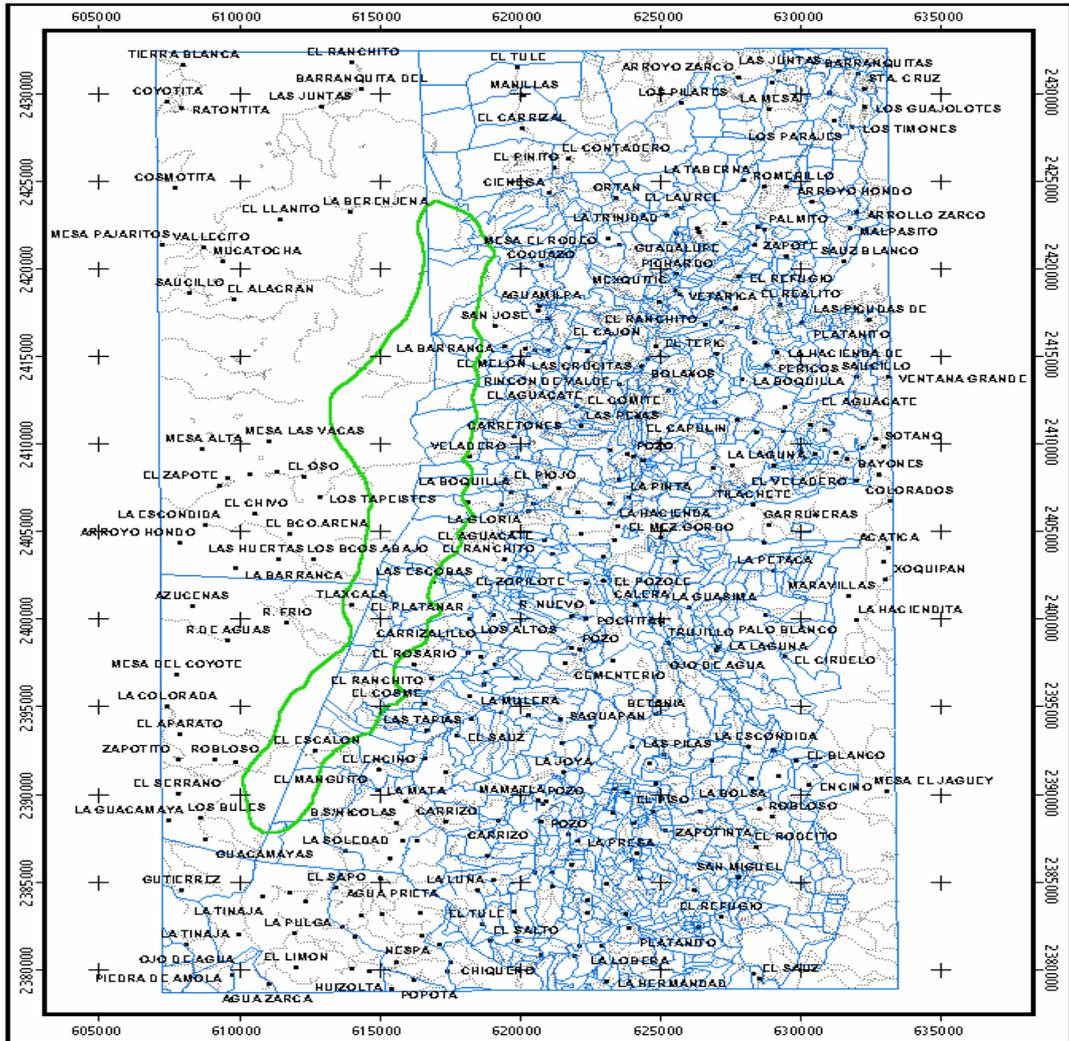


Figura 6 Zona del Carricito.

4.2 Antecedentes del área

Los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental son hábitats con una alta biodiversidad, tanto por su composición de especies, como por su alto endemismo (Rammamorthy *et al.*, 1993). Así mismo estos bosques alojan especies de flora y fauna cuya distribución en el país se restringe a esta región (Flores 1993).

Recientemente un estudio demostró que de la extensión original de los bosques de pino-encino en la Sierra Madre Occidental que comprendía 93,560 Km² para 1995, únicamente 571 Km² mantenían como bosques prístinos, es decir que más del 99% han sido transformados en bosques de producción intensiva (Lammertink *et al.* 1997).

La mayor parte del bioma que representan los bosques de pino-encino en la Sierra Madre Occidental ha sido alterado por asentamientos humanos y operaciones forestales extensivas que remueven todos los árboles maduros y los árboles muertos en pie (Lanning y Shifflett 1983). Estos bosques representan ahora comunidades totalmente inestables, con un alto grado de perturbación, debido también al establecimiento de rancherías y grandes poblados. La riqueza biológica de esta región se encuentra por lo tanto en riesgo de ser seriamente afectada sobre gran parte de distribución, en especial, aquellas especies endémicas como fue el caso del Carpintero Imperial (*Campephilus imperialis*), conducido hasta la extinción por la pérdida de hábitat (Lammertink *et al.*, 1996).

En 1996 se tomó la iniciativa en conjunto con comunidad Wixarika para lograr la protección y conservación de El Carricito, ubicado en la Sierra de Bolaños, extendiéndose sobre una superficie próxima a las 20,000 hectáreas. El fundamento primordial para la planear la reserva natural "El Carricito", son su reconocimiento como la mayor extensión de bosques antiguos de pino-encino en la Sierra Madre Occidental, representando un refugio para al menos 600 especies de flora y fauna, 65 consideradas desde raras hasta en peligro de extinción, además de tener importancia como corredor biológico regional. Culturalmente El Carricito tiene un gran significado para la comunidad Wixarika, ya que en ella durante siglos se ha llevado a cabo la cacería ritual del venado cola blanca.

Características abióticas

La Sierra de Bolaños presenta una variación altitudinal que va desde los 630 msnm, hasta los 2,680 msnm. Se presenta un rango de pendientes que van desde terrenos planos hasta medianamente abruptos. En la zona norte del área se encuentran pendientes de 10 a 35%, con una parte central que tiene una ligera pendiente mayor a 10%. La zona Este tiene en general pendientes de menos de 8%. La zona sudeste tiene una combinación de pendientes, ya que una parte presenta pendientes que van de 0 al 10%, y la otra tiene pendientes del 8 al 15%.

Fisiografía (topografía y pendientes)

La zona oeste tiene pendientes de 8 a 20%, con una muy pequeña parte con pendientes del 30%. La zona centro y la zona sur son las partes más abruptas ya que tiene pendientes que van del 20 al 40%, presentándose partes con pendientes de menos del 20%; pero mayores del 10%. El territorio se divide en tres grandes grupos de pendientes: el grupo **a** se refiere a los espacios planos a ligeramente ondulados, que tienen pendientes menores al 8%, la extensión con esta pendiente es de aproximadamente 30%, es decir 3,000 ha. El grupo **b**, es el grupo que presenta lomeríos y algunos montes con pendientes que oscilan entre el 8 y el 20%, su extensión es del 20% con un promedio de 2,000 ha. El tercer grupo es el **c** se refiere al territorio característico de pendientes más pronunciadas y además es el más grande del área total con 5,000 ha, las pendientes van del 20 al 40%.

Características bióticas.

El Carricito uno de los contados ecosistemas prístinos de bosque mixto de pino encino en la Sierra Madre Occidental. En estos bosques se encuentran cerca de 600 especies entre flora y fauna, algunas listadas en las NOM-059-ECOL-1994.

La región de estudio se encuentra comprendida dentro de la región Caribeña y más específicamente en la amplia provincia de la Costa del Pacífico (Rzedowski, 1987), afirmación corroborada por parte de la flora registrada durante el presente estudio. Sin embargo Téllez (1995) y Villaseñor (1991) indican que zonas de los estados de Jalisco y Nayarit en el occidente de México, poseen una flora propia. En el caso particular de El Carricito, en la Sierra de Bolaños, la flora registrada sugiere a este lugar como parte de una de estas zonas de diversificación florística. Además es pertinente señalar que Bolaños ha sido registrado por McVaugh (1984) y Villaseñor (1991) con dicha importancia en ese mismo sentido.

Durante el desarrollo de una investigación botánica previamente reportada, se colectaron alrededor de 700 números, entre los cuales se han registrado 70 familias, 162 géneros y 241 especies, entre Gymnospermas, Angiospermas, Monocotiledóneas y Dicotiledóneas; así como Pteridophytas. Debido a que ha sido procesado sólo alrededor del 70% de las colecciones hechas, se espera que se incremente hasta 320 el número de especies registradas. De las colecciones realizadas se registraron 40 especies arbóreas, 40 especies arbustivas, 130 herbáceas, 14 plantas trepadoras, 14 de epífitas, y un escaso número de hemiparásitas, con sólo 2 especies.

4.3 Geología (tipos de rocas)

De los tres grupos principales de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas) las rocas ígneas constituyen la mayor parte de la porción sólida de la Tierra, por lo menos en su zona exterior. Por ubicarse dentro de la Sierra Madre Occidental, El Carricito es predominantemente de origen ígneo, sin embargo también presenta una pequeña porción de material sedimentario.

Las actividades ígneas pueden subdividirse en dos clases principales: (1) los movimientos subsuperficiales, o actividad de intrusión; y (2) los movimientos superficiales, o actividad de extrusión. Es obvio, desde luego, que las lavas fundidas que salen a la superficie de la tierra a través de grietas o aberturas se originaron bajo la superficie y se han movido radialmente hacia fuera. Hay de este modo una gradación o conexión entre las acciones de intrusión y de extrusión. Para el caso del Carricito, las rocas ígneas extrusivas son las más predominantes.

En la figura 7, se aprecian los aspectos topográficos del Carricito en Jalisco.

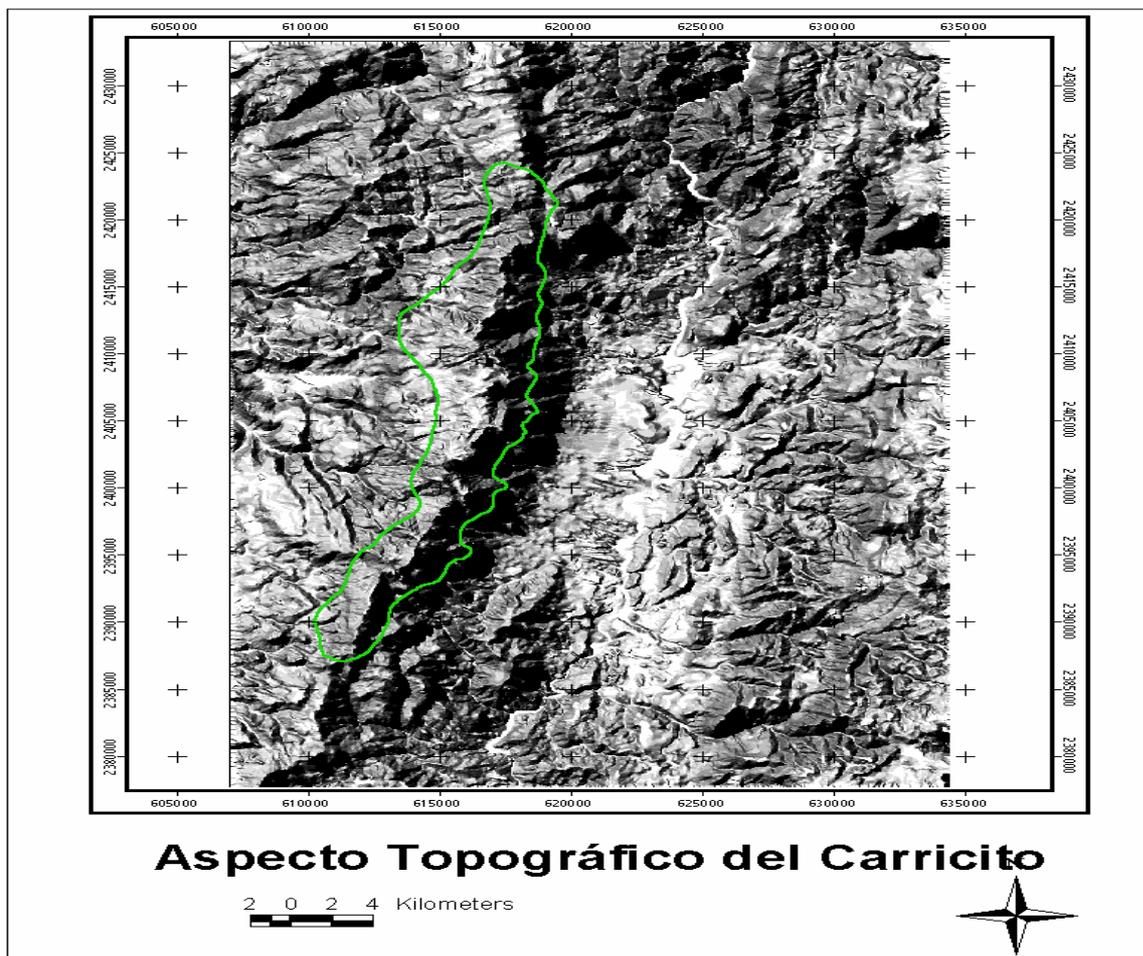


Figura 7. Topografía del Carricito.

4.4 Edafología (tipos de suelo, descripción y distribución).

En el área se encuentran cuatro tipos de suelo, los cuales son: Litosol, Feozem lúvico, Luvisol órtico y cambisol eútrico, distribuidos de la siguiente forma:

El primer tipo de suelo, es el tipo de suelo Feozem lúvico (HI), que ocupa el 87% del área total, se encuentra en la zona norte, como en toda la zona centro y este.

A continuación se hace una descripción de las características de este tipo de suelo según Fitz-Patrick (1984):

El segundo tipo de suelo se refiere al Litosol (I), en el área sólo comprende un 4%. Connotativa de suelos con roca dura a muy poca profundidad, por tanto son suelos que están limitados en profundidad por roca continua dura coherente dentro de los 10 cm de profundidad de la superficie. En el área se presenta en las zonas montañosas, las cuales se ubican en los límites del lado este.

El tercer tipo de suelo es el Luvisol órtico (Lo), el cual se ubica en la mayor parte de la zona sur, abarcando un promedio de 7% del área total. La principal característica de este tipo de suelo es que son acumulaciones aluviales de arcilla, es decir, que son suelos que se han formado en gran parte por migración progresiva de material hacia abajo.

4.5 Hidrología (cuenca, arroyos, presas).

La parte alta de El Carricito, presenta infinidad de arroyos algunos temporales durante las lluvias y otros permanentes nutridos por manantiales subterráneos. La región sólo incluye dos ríos con volúmenes grandes, sobre todo en las lluvias, éstos se localizan en la parte media de la reserva en la zona de amortiguamiento, los ríos son La Mulera y El Oso, ambos descargan sus aguas finalmente en el río Camotlán que a su vez se une al río Santiago. Las aguas de la parte alta de la sierra también contribuyen al caudal del río Bolaños que corre paralelamente hacia el lado este, siendo el más grande de toda la región.

4.6 Clima.

La precipitación en El Carricito es de 681.7 mm (García, 1988), y la temperatura media anual de 24.4° C, ambas registradas para la estación meteorológica de Bolaños. En invierno se presentan las temperaturas más bajas (4 – 5 °C), y las temperaturas más altas entre abril y junio (30 °C). Las lluvias pueden presentarse durante todo el año, pero son más abundantes entre mayo y septiembre. Las nevadas son muy ocasionales ocurriendo con muchos años de diferencia. La Sierra de Bolaños presentan los tipos de clima ligeramente húmedos, con moderada deficiencia de agua invernal y régimen térmico templado- cálido y semi-cálido (C2 w B'3 a' y C2 w B'4 a').

4.7 Vegetación.

Dentro del área encontramos diferentes tipos de vegetación. Además del bosque mixto de pino-encino, existen también, el bosque de encino y el bosque de pino. La composición de los diferentes tipos de vegetación en cuanto a las especies que los conforman varía de un lugar a otro. El tipo de vegetación dominante es el bosque de pino-encino descrito por Rzedowski (1978). Con excepción de zonas riparias o de cañadas que muestran una composición de especies diferente en las que dominan especies más típicas de zonas húmedas, los bosques maduros de esta área están dominados por diferentes especies de *Pinus* (7), y de *Quercus* (16), que difieren según su estado de desarrollo.

Bosque de Encino (*Quercus*).

El bosque de *Quercus* es una comunidad característicamente templada, sin embargo al igual que el bosque tropical caducifolio es sumamente estacional en su comportamiento. A diferencia del último, las especies arbóreas, principalmente aquellas del género *Quercus* pueden ser perennifolias. Aquí la mayor parte de las especies herbáceas desaparece por alrededor de 6 meses debido a la época de sequía. La zona de estudio se distribuye entre los 1,700-2,400 msnm.

La comunidad de bosques de encinos está compuesta esencialmente por un estrato arbóreo principal, claramente diferenciado de uno arbustivo y otro herbáceo pequeño. Las epífitas y las trepadoras están presentes. El estrato arbóreo tiene una altura entre 5-20 m (en ocasiones existen emergente de cerca de 30 m o más), las principales especies de este estrato son, *Quercus candicans*, *Quercus castanea*, *Quercus sideroxyla*, acompañados por *Alnus jorullensis*, *Pinus oocarpa*, *Prunus brachybotrya*, *Salix jaliscana* y *Viburnum elatum*.

Bosque de Pino- Encino (*Pinus-Quercus*).

Este bosque mixto al igual que los de *Quercus*, es una comunidad característicamente templada, son sumamente estacionales en su comportamiento. En este caso particular todas las especies de *Pinus* son perennifolias; y como ocurre en el encinar las herbáceas desaparecen prácticamente por el tiempo de duración de la época de sequía.

Estos bosques abarcan aproximadamente el 78% de área total, es decir 7800 ha. La zona más baja se reporta en 2100 msnm, y la más alta se ubica a los 2680 msnm. En esta zona el bosque de coníferas es diverso en general.

Existe un estrato arbóreo rico, más bien tendiente a parecer un bosque mesófilo, es notable la diversidad de los encinos, parte de la composición detectada está compuesta por *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis*, *Arbutus glandulosa*, *Befaria mexicana*, *Cercocarpus macrophyllus*, *Cornus disciflora*, *Juniperus flaccida*, *Quercus candicans*, *Quercus castanea*, *Quercus eduardii*, *Quercus laurina*, *Quercus praeco* y *Quercus rugosa* entre otras.

Bosque de Pino (*Pinus*).

Los bosques maduros y viejos encontrados en El Carricito abarcan una superficie aproximada de 22 Km², se caracterizan por tener individuos de edades avanzadas (más de 100 años), una composición de especies compleja y una distribución espacial de individuos heterogénea.

Las características estructurales de estos bosques incluyen por lo general de dos a tres estratos en el dosel que están representados por diferentes especies. El estrato superior tiene una altura media de entre 20 y 30 m, está integrado principalmente por especies de pino y encino, los pinos pueden ocupar entre el 20% y 100% del dosel superior.

El estrato medio mide de 10 a 20 m de altura y está representado en su mayoría por pinos y encinos. El estrato inferior mide de 3 a 10 m predominando los encinos, madroños.

Especies con importancia Biogeográfica.

Como se indicó anteriormente, diversas zonas de la Nueva Galicia han sido reconocidas como importantes centros de diversificación florística, una de éstas es la región de Bolaños (Villaseñor, 1991). En la zona han sido detectadas diversas especies que podrían ser consideradas clave, desde el punto de vista de la conservación. Así es pertinente señalar que fueron detectadas especies raras, endémicas, amenazadas, disjuntas y el registro de dos nuevas especies.

En particular, este es el caso una especie de ***Coreopsis*** (Compositae), (Calónico 3006, MEXU), la cual se determinó como una especie nueva para la ciencia y por supuesto aún no descrita. En forma similar, esta el caso de ***Penstemon bolanus*** (Scrophulariaceae), también endémica a la zona de Bolaños. Por lo que ambas especies representan casos de endemismo restringido y por lo tanto podrían ser catalogadas como raras, vulnerables o amenazadas de acuerdo con la UICN (1995), dependiendo de los factores de disturbio que actualmente estén ocurriendo sobre la zona.

Otro tipo de patrón registrado, lo representan aquellas especies endémicas con intervalo más amplio, algunos de estos casos son ***Agave ornithobroma*** (Agavaceae), y ***Vaccinium stenophyllum*** (Ericaceae), y ***Quercus praineana*** (Fagaceae), endémicas a zonas de los estados de Sinaloa, Nayarit y Jalisco, ***Axiniphyllum durangense*** (Compositae) y ***Quercus convallata*** (Fagaceae), conocidas para los estados de Durango, Sinaloa, Nayarit y Jalisco, o como el caso de ***Echeandia occidentalis*** (Liliaceae) endémica para el sur de Nayarit, Jalisco y occidente de Michoacán, de ***Cuphea calcarata*** (Lythraceae) y ***Quercus praeco*** (Fagaceae) que son endémicas para zonas de Nayarit y Jalisco. Finalmente el caso de ***Bidens acrifolia*** (Compositae) conocida sólo de poblaciones disyuntas entre el sur de Sinaloa y oriente de Jalisco. Otro caso de interés lo representa la presencia de ***Salvia alamosana*** (Labiatae), especie más bien distribuida hacia el norte de la Sierra Madre Occidental en los estados de Chihuahua y Sinaloa, con sólo una colección reciente en

Nayarit. Esta colección registrada para Jalisco, representa el límite sur de esta especie en México.

4.8 Fauna.

Herpetofauna

Las colectas realizadas en el área indican que El Carricito es particularmente rico en especies de anfibios y reptiles. Hasta el momento hemos registrado 21 especies de anfibios pertenecientes a 10 géneros y 6 familias. Del total de especies registradas, el 85% (17 especies) son consideradas como endémicas para México (Flores-Villela, 1991). Los registros de las especies *Pterohyla dentata*, *Pseudoeurycea belli*, representan ampliaciones en su rango de distribución y en el caso de *Ambistoma rosaceum*, constituye un nuevo registro para el estado de Jalisco.

En cuanto a los reptiles, se registraron 45 especies pertenecientes a 32 géneros y 15 familias. De acuerdo a Flores-Villela (1991), 29 especies (65%), del total registradas son consideradas como endémicas a México. Asimismo, se registraron 3 especies (*Gerrhonotus kingi*, *Phrynosoma duglassi* y *Crotalus willardi*), con ampliaciones de distribución no reportadas antes en la literatura.

Una comparación con la riqueza herpetofaunística reportada para otros sitios en la Sierra Madre Occidental sugiere que El Carricito alberga un número de especies de anfibios y reptiles representativos de la Sierra Madre. Por otro lado, el alto grado de endemismo registrado (46 especies, 70%), destaca la importancia de esta zona al albergar un número alto de especies exclusivas al país. De las 66 especies registradas en total de anfibios y reptiles, 28 especies se encuentran enlistadas en la NOM-ECOL-059-1994 y representan el 42% del total, de las cuales 18 especies (64%), son endémicas a México.

Avifauna

Este lugar ha sido reconocido como un área prioritaria para en la conservación de las aves a nivel mundial (Wege & Long, 1995; Lammertink *et. al.* 1996). En el trabajo de campo realizado previamente, se registraron 168 especies, entre las cuales destacan, el Águila Real (*Aquila chrysaetos*), en peligro de extinción, la Guacamaya Serrana (*Ara militaris*), en peligro de extinción y el Trogón Orejón (*Euptilotis neoxenus*), género endémico y amenazado, del cual se tienen 108 registros, en diferentes localidades del área (principalmente bosques de pino-encino), y un total de 169 individuos, que constituye hasta estos momentos la población continúa más grande conocida en toda la Sierra Madre Occidental. Entre las especies registradas encontramos 17 endémicas, por ejemplo la Pachacua Prío (*Nyctiphrynus mcleodii*), especie rara, el Mosquero (*Empidonax affinis*), y el Martín Sinaloense (*Progne sinaloae*), especie rara. 31 especies, catalogadas entre, raras, de protección especial, amenazadas y en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-ECOL-059-1994, tales como el Águila Solitaria (*Harpyhaliaetus solitarius*), el Halcón Peregrino (*Falco peregrinus*), el Búho Cornudo (*Bubo virginiaus*) y el Mirlo Americano (*Cinclus mexicanus*). Se registraron 87 especies, de aves consideradas como migratorias neotropicales, y Rappole (1993), por ejemplo el Gavilán Rastrero (*Circus cyaneus*),

el Carpintero Chupasavia Nuquirroja (*Sphyrapicus nuchalis*) y el Ampelis Americano (*Bombycilla cedrorum*).

5. METODOLOGIA.

Estimación de la superficie en el Carricito

Para determinar la superficie del Carricito, se digitalizaron dos cartas topográficas: a) San Martín de Bolaños F-13-D-24 JAL.-ZAC. INEGI y b) Chimaltitlan F-13-D-14 JAL. INEGI. en escala 1:50,000 y fueron procesadas en ILWIS, de donde se desprende la figura 8 y un estimado de 200 km² de superficie que equivalen a 20,000 ha.

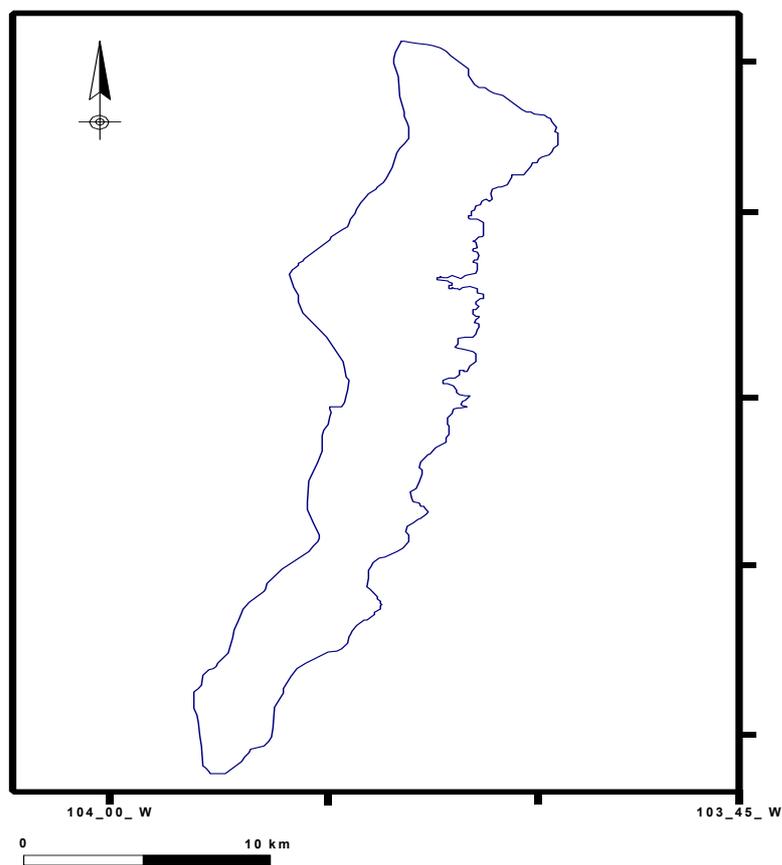


Figura 8. Superficie del Carricito

5.1 Procesamiento de las muestras

En el diseño experimental se identificaron ocho sitios de muestreo (figura 9) al azar que correspondieron a cuatro tipos de vegetación identificados en un recorrido previo del área. Estos fueron: el bosque de encino, el de pino-encino, el de encino-pino y el de mesa. Se considero un arreglo factorial de 8 x 16, es decir 8 sitios de muestreo por 16 muestras que dan un total de 128 datos para analizar.

En cada uno de ellos se establecieron dos cuadros de 105 x 75 m para medir la vegetación (Figura 2^a). El cuadro completo se utilizó para medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles mayores a 30 cm de DAP. En un subcuadro de 25 x 105 m se midieron los árboles entre 10-30 cm de DAP (Figura 2^a). Los árboles cuyo DAP se encontraba entre 0-10 cm se midieron en dieciséis subcuadros de 2 x 10 m, mientras que los arbolillos menores de 1.30 m de altura se midieron en dieciséis cuadros de 1 x 1 m (Figura 2b). El material vegetal sobre el suelo (mantillo) y las herbáceas se colectaron en dieciséis subcuadros de 50 x 50 cm (Figura 2b), mientras que la biomasa leñosa muerta sobre el suelo se cuantificó con 16 intersectos planares (Brown y Roussopoulos, 1974).

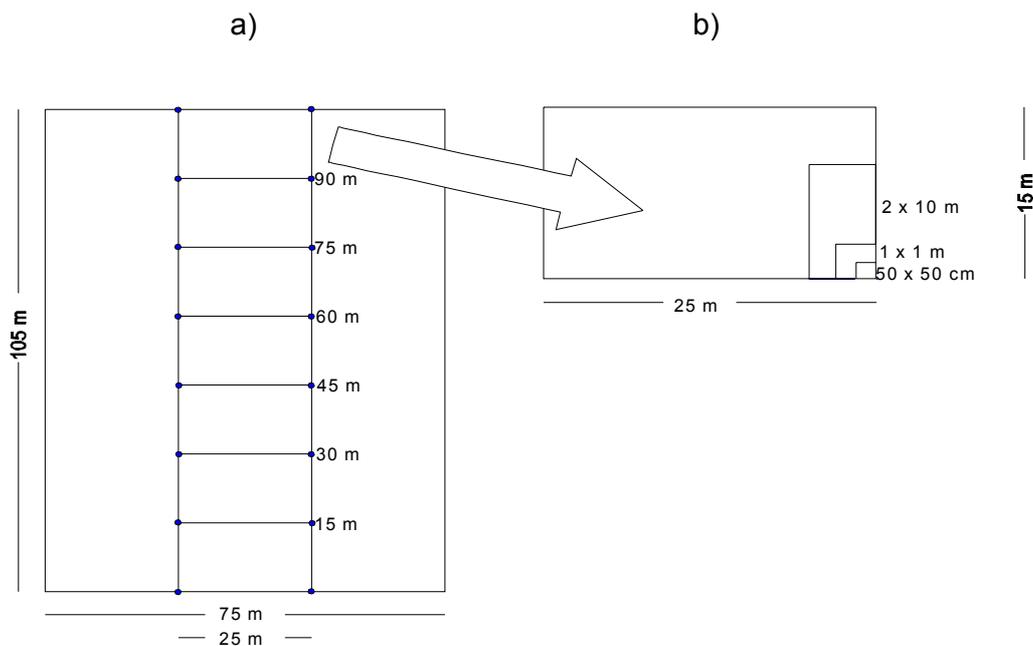


Figura 9. (a) Área de muestreo de forma rectangular subdividida por cuadrantes; (b) Subcuadros de muestreo para arbolillos, mantillo y biomasa leñosa muerta.



La colecta de las muestras se realizó tomando el mantillo que estaba dentro del cuadro de 50 X 50cm, mismo que fue colocado en bolsas de papel estraza del No. 20 y rotuladas con la fecha de la colecta, localidad, sitio, número del sitio, rectángulo A o B y número de cuadro 1, 2 al 16.

Las muestras colectadas de mantillo fueron secadas y pesadas individualmente para su análisis en el laboratorio.

Se introdujeron las muestras en una estufa de secado, calibrada a 80° C para deshidratarlas, por un periodo de 72 horas.



Se determinó el peso seco de las muestras.



Se trituraron las muestras con un molino eléctrico hasta llevarlas a polvo.



Se tomaron 0.25 g. de muestra y se colocaron en una cucharilla de tungsteno para su incineración.



Se procesaron las muestras en un Cuantificador de carbono Analizador de Carbono Orgánico Total (TOC por sus siglas en inglés).

5.2 Integración de la base de datos.

El marco teórico para estimar el carbono contenido en un bosque parte de la siguiente ecuación general:

$$Ct = Cv + Cm + Cs$$

Donde:

- Ct** = Carbono total almacenado en el ecosistema
- Cv** = Carbono contenido en la vegetación, el cual a su vez es la suma del carbono contenido en la biomasa aérea C_{BA} y el carbono contenido en las raíces C_{BR} .
- Cm** = Carbono contenido en mantillo.
- Cs** = Carbono en suelo es el carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal.

El carbono contenido en el mantillo (Cm) se obtuvo de la multiplicación de la muestra de biomasa en peso seco por la concentración de carbono obtenida en el TOC.

$$Cm = PS \times [C]$$

Donde:

- Cm** = Carbono contenido en mantillo.
- PS = Peso Seco de la muestra de biomasa
- [C] = Concentración de carbono.

Para establecer la relación diámetro-altura para los árboles del área de estudio, se midieron el diámetro y la altura de treinta individuos por sitio y por género (*Pinus* y *Quercus*). Con estos datos se calculó el volumen de los árboles.

A partir del volumen calculado se obtuvo la relación volumen-DAP, para estimar así el volumen de todos los árboles muestreados.

Carbono en el mantillo (Cm)

Las 128 muestras colectadas de mantillo fueron secadas y pesadas individualmente. El carbono contenido en el mantillo Cm se obtuvo multiplicando su peso seco por la concentración de carbono en materia seca (37%).

$$Cm = \text{Peso seco} \times 0.37$$

5.3. 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 896 datos. Esto fue procesado en una hoja de cálculo del programa MS Excel, 2002, 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 sitios, por cuadrante, por muestras, por peso en gramos por metro cuadrado (gm^2), por CC%, por CCgm^2 , para al final representarlos en MgCha^{-1} .

Características de los sitios

El tipo de vegetación dominante es el bosque de pino-encino, este bosque no ha tenido ningún tipo de manejo forestal y es un bosque que presenta diferentes asociaciones derivadas de la dinámica propia de la vegetación y los sitios de muestreo se distribuyeron en dichas asociaciones (figura 10) encontrándose lo siguiente:

Sitio 1 Vegetación de Pino maduro con renuevo de encino y madroños ubicados en bosque de mesa.

Sitio 2 Vegetación de Pino-encino en bosque abierto.

Sitio 3 Vegetación de Encino-pino.

Sitio 4 Vegetación de Pino-encino, con individuos juveniles abundantes.

Sitio 5 Vegetación de Pino-encino, con individuos juveniles abundantes.

Sitio 6 Vegetación de Pino-encino, con mayor abundancia de pinos jóvenes.

Sitio 7 Vegetación de Encino-pino, con abundancia de encinos.

Sitio 8 Vegetación de Pino-encino, con mayor densidad de pinos jóvenes.

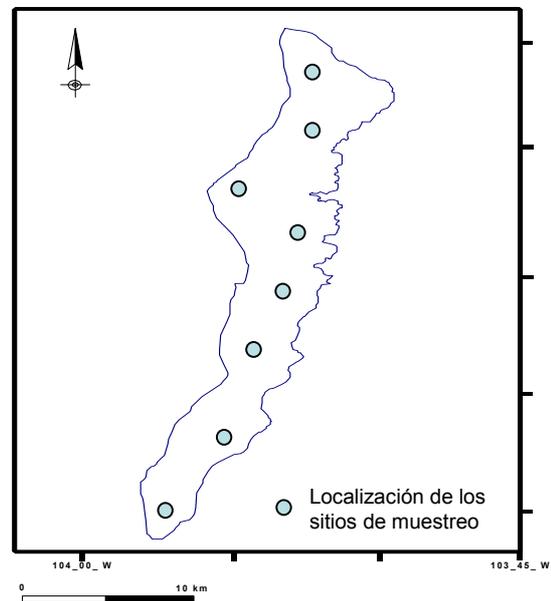


Figura 10 Localización de los sitios de muestreo en el Carricito.

6. RESULTADOS

Densidad del arbolado en cada sitio

La densidad de árboles observada en cada uno de los ocho sitios muestreados por género y diámetro normalizado fue variable, con valores de 157 árboles/ha a 460 árboles/ha (Cuadro 3), con un promedio de 348 árboles/ha. Los principales géneros de árboles presentes en los sitios muestreados fueron: *Pinus* y *Quercus*. Otros árboles como los madroños y *Prunus* presentaron densidades menores (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número árboles por género con diámetros mayores y menores de 30 cms de DAP, en cada uno de los ocho sitios.

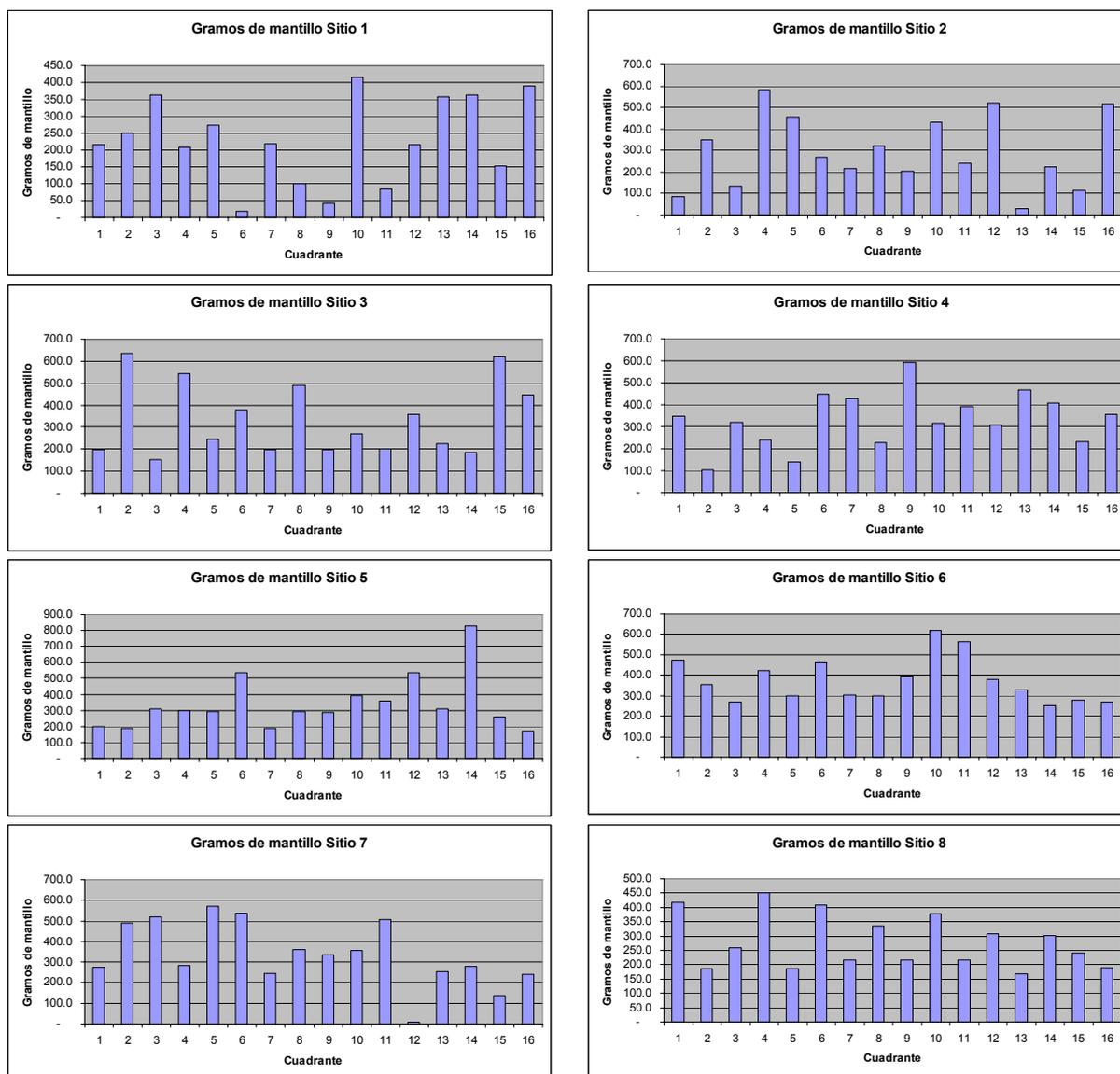
Sitio	Pino		Encino		Prunus		Madroño		Tepozan		Total	Árbol/ha
	+30	-30	+30	-30	+30	-30	+30	-30	+30	-30		
I	48	6	22	48	0	6	0	75	0	0	205	260
II	16	42	3	63	0	0	0	0	0	0	124	157
III	30	18	54	165	0	0	11	75	0	1	356	452
IV	30	132	35	96	0	0	2	63	0	0	358	454
V	27	93	29	48	0	0	0	9	0	0	206	261
VI	11	222	61	24	0	0	1	9	0	0	328	416
VII	11	3	86	123	0	0	16	12	0	0	251	318
VIII	14	183	67	99	0	0	0	0	0	0	363	460

Los árboles dominantes registrados de diámetro menor a los 30cm fueron los pinos (699), seguidos por los encinos (666) y al último los madroños (243), esto sugiere posibles cambios importantes en la dinámica propia de la comunidad de pino-encino, que en el futuro y con base en la sobrevivencia de los árboles dará una dominancia posible de hojosas sobre las coníferas, pero se aprecia que el bosque es un bosque de pino-encino (es decir existen estos géneros –*Pinus* y *Quercus*- en proporciones muy similares).

Respecto a los árboles dominantes registrados cuyo diámetro es mayor a 30cm, fueron los encinos con 357, mientras que los pinos solo 187, en este caso la relación de dominancia de árboles de encino en los sitios III, IV, V, VI, VII y VIII nos permite decir que se trata de un bosque de encino-pino y no como se tenía registrado en la carta de tipo de vegetación correspondiente.

Biomasa de mantillo por sitio

En los siguientes histogramas se aprecian los gramos de mantillo en peso seco (biomasa) colectado en cada uno de los dieciséis cuadrantes por sitio.



Se realizó un análisis de varianza por cuadrante y entre sitio (cuadro 4), mostrando diferencias significativas entre los cuadrantes y entre los sitios (usando el programa PopTools).

Cuadro 4. Análisis de varianza entre cuadrante y entre sitio.

Source of variation	df	SS	MS	F	P-value
Among groups	7	228095.002	32585.0003	1.61196294	0.13836107
Within groups	120	2425738.16	20214.4847		
Total	127	2653833.16			

Concentración de carbono en mantillo

En las muestras de mantillo de pino se encontraron concentraciones de carbono de 30 a 38 % con un promedio de 37%, en el bosque de encino se registraron concentraciones de carbono de 30 a 39% con un promedio de 32% (cuadro 5).

Cuadro 5. Concentraciones de carbono en mantillo registradas.

Mantillo de	Mínimo	Máximo	Promedio
Pino	30	38	37
Encino	30	39	32
Mezcla de pino y encino	28	44	37

Carbono en el mantillo.

La estimación del carbono contenido en el mantillo, varió entre 0.1 a 12.26 MgC/ha, con un promedio de 4.7 MgC/ha (cuadro 6).

Cuadro 6. Estimación de carbono en MgC/ha por cuadrante y por sitio.

Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8
3.2	1.3	2.9	5.2	3.0	7.0	4.0	6.2
3.7	5.2	9.4	1.5	2.8	5.2	7.3	2.8
5.4	2.0	2.3	4.7	4.6	4.0	7.7	3.8
3.1	8.6	8.0	3.6	4.4	6.3	4.2	6.7
4.1	6.7	3.6	2.1	4.4	4.4	8.5	2.7
0.3	4.0	5.6	6.6	7.9	6.9	7.9	6.1
3.2	3.2	2.9	6.3	2.8	4.5	3.6	3.2
1.5	4.8	7.3	3.4	4.3	4.4	5.3	4.9
0.6	3.0	2.9	8.8	4.3	5.8	5.0	3.2
6.1	6.4	4.0	4.7	5.8	9.1	5.3	5.6
1.3	3.6	3.0	5.8	5.3	8.4	7.5	3.2
3.2	7.7	5.3	4.5	7.9	5.6	0.1	4.6
5.3	0.4	3.3	6.9	4.6	4.9	3.8	2.5
5.4	3.3	2.7	6.0	12.3	3.7	4.1	4.5
2.3	1.7	9.2	3.5	3.8	4.1	2.0	3.6
5.8	7.7	6.6	5.3	2.5	4.0	3.5	2.8

Se realizó una ponderación de los valores promedio del contenido de carbono en el mantillo por cuadrante y por sitio (figura 11).

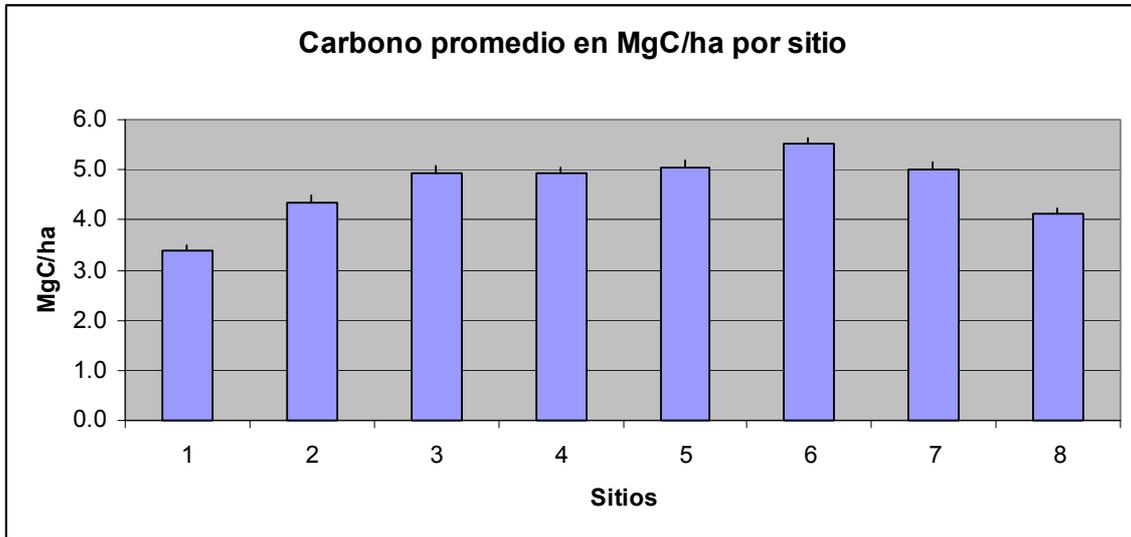


Figura 11. Contenido de carbono en el mantillo (MgC/ha) en los sitios de el Carricito, Jalisco.

Se aprecia que el contenido de carbono en mantillo en toneladas por ha y por sitio, presenta valores que van de 0.1 a 12.26 MgC/ha, con un promedio de 4.7 MgC/ha (figura 12).

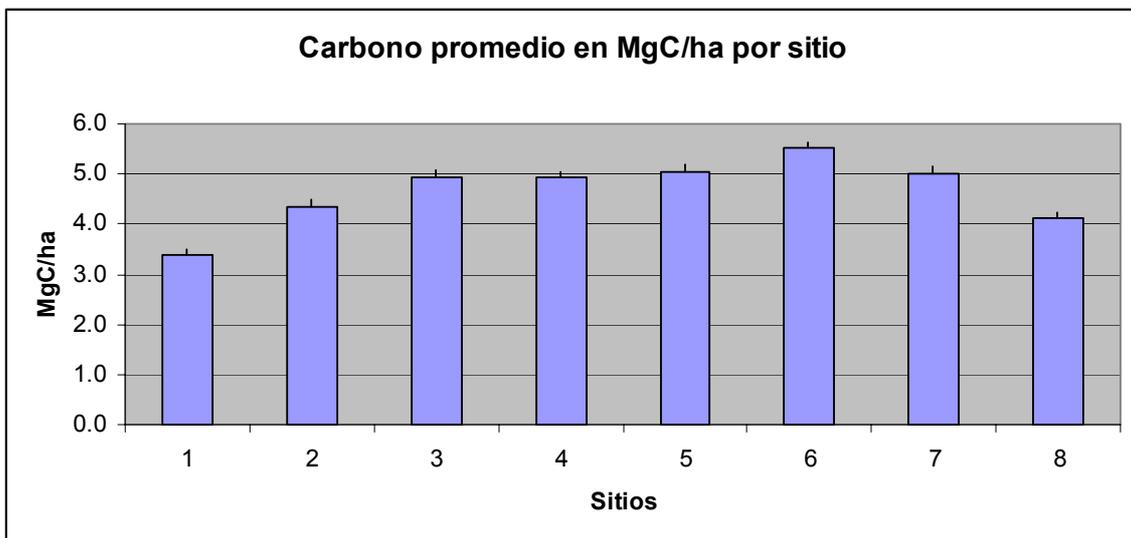


Figura 12. Carbono contenido en mantillo por sitio en MgC/ha).

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La superficie total aproximada de el Carricito, es de 200 Km. Lammertink *et al*, (1997), estimaron que hay 117.9 Km aproximadamente de bosque pino – encino seco abierto, bosque de pino – encino 1.1 Km y 20.6 Km de bosque pino – encino de mesa según el mapa de tipo de cobertura vegetal del INEGI para el año 2000, pero lo que apreciamos es que es un bosque de pino-encino en transición a ser un bosque de encino-pino.

Cabe mencionar que la estructura y composición de un bosque, son producto de las adaptaciones a condiciones específicas del ambiente, Grijpma (1984) define la estructura forestal como: el conjunto de especies arbóreas relacionadas e interdependientes, distribuidas en un espacio determinado, con una altura y una cobertura dada; de esta forma se pueden diferenciar unas especies forestales de otras por su composición, edad o estado.

Los bosques homogéneos según Grijpma (1984) son aquellos donde el 80% de los árboles que lo conforman pertenecen a una misma especie y los bosques heterogéneos son aquellos que están conformados de varias especies; bajo estos criterios se identifica el tipo de vegetación y a los diferentes tipos de asociaciones forestales; estas se presentan en gradientes definidos por factores ambientales, biológicos, propios del terreno y factores determinísticos como los sociales.

Al traslaparse estas comunidades forestales, dan lugar a asociaciones de transición y/o ecótono. Por lo tanto, es probable que los bosques al estar en una etapa sucesional parezcan distintos a la comunidad característica de una región determinada y presente diferente estructura y composición conformando nuevas asociaciones (Ordóñez y Medrano, 2003); y que esto este ocurriendo en el Carricito.

Se encontraron cantidades diferente de biomasa de mantillo por cuadrante y por sitio. Al aplicar un análisis de varianza a los valores obtenidos, se observan diferencias significativas entre cuadrante y entre sitio; las diferencias obtenidas en cuanto a la biomasa se deben muy posiblemente a que la comunidad original de pino-encino, se encuentra en una transición de encino-pino por la dominancia de los árboles, ahora bien, cada árbol deposita cantidades diferentes de hojarasca que forma el mantillo y la concentración de carbono varía dependiendo de la composición de las hojas por especie arbórea.

Si consideramos otros factores que afecten la cantidad de mantillo, podemos decir que el bosque se encuentra distribuido en diferente geoforma como el relieve, una parte es bosque de mesa, otra se encuentra en el parte aguas que corre de norte a sur con diferente exposición al viento y luz; entonces podríamos sugerir que algunas diferencias de la cantidad de mantillo colectado en cada sitio pudiera deberse a factores climáticos (temperatura, humedad, radiación, intensidad del viento) y del relieve.

Esto origina nuevas hipótesis que subrayan la importancia de tomar en cuenta la geoforma del área de muestreo y sugiere analizar los resultados que se obtienen en una ladera expuesta, versus los resultados de muestras tomadas en un valle o en una

cima e inclusive en las laderas que no están expuestas al viento, así como de estudiar las tasas de descomposición del mantillo en esta región.

En las muestras de mantillo de pino se encontraron concentraciones de carbono de 30 a 38 % con un promedio de 37%, en el bosque de encino se registraron concentraciones de carbono de 30 a 39% con un promedio de 32%; este registro nos permite apreciar diferencias entre los valores de referencia, donde se sugería que el 50% de la biomasa es carbono y con este estudio vemos que no es así y que el valor va a depender de las concentraciones de lignina y otros con largas cadenas de carbono.

Para entender un poco más de las diferencias y semejanzas en el contenido de carbono en mantillo, se realiza la comparación del contenido de carbono en mantillo para bosque de pino, pino-encino y encino-pino de tres estudios de caso, en localidades diferentes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación del contenido de carbono en mantillo en diferentes estudios de caso.

Autor	Tipo de vegetación	Localidad	MgC/ha Mínima y Máxima
Palacios-Roji (2007)	Bosque de pino	San Pedro Jacuaro, Michoacán	1.14 a 4.22 Promedio de 2.36
Pérez (2006)	Bosque de pino-encino	Región Purépecha, Michoacán	1.2 a 6.8 Promedio de 3.4
Pérez (2006)	Bosque de pino	Región Purépecha, Michoacán	0.2 a 8.3 Promedio de 3.0
Pérez (2006)	Bosque de encino	Región Purépecha, Michoacán	1.6 a 6.6 Promedio de 3.2
Este estudio	Bosque de pino-encino	El Carricito, Jalisco	0.1 a 12.26 Promedio de 4.7

En cuanto a las bondades que ofrece la capa de hojarasca (mantillo) en la estructura del suelo se debe a su capacidad amortiguadora para resistir la erosión (el efecto del viento y la lluvia), funcionan como un filtro ya que retiene los solutos y sirve como catalizador, aumentando la calidad de agua que se aporta a los mantos freáticos y al estar en el parte aguas, juega un importante papel en el ciclo del agua y procesos de evapotranspiración.

Podemos concluir que aunque el mantillo es el almacén de carbono más pequeño en la relación al carbono almacenado en la vegetación y suelo, es muy dinámico, pero también muy vulnerable a los procesos intrínsecos y antrópicos del entorno, por lo que en el Carricito se necesitan mas de 100 años para poder acumular el carbono observado en la vegetación y mas de 300 años para que se acumule el Carbono en el suelo; es por esto, que este tipo de ecosistemas requieren atención inmediata para su conservación, de lo contrario, al permitirse el cambio en el uso del suelo, su capacidad de almacenar carbono seria de 20 Mg/ha aproximadamente, ya que este lugar en particular corre el riesgo de sufrir un proceso acelerado de deforestación.

8. REFERENCIAS

Alexander, M. 1977. *Introduction to Soil Microbiology* (2da edición). John Wiley, New York and London.

Álvarez-Icaza, P., G. Cervera, C. Garibay, P. Gutiérrez, y F. Rosete. 1993. "Los Umbrales del Deterioro: La Dimensión Ambiental de un Desarrollo Desigual en la Región Purépecha". Ed. Fundación Friedrich Ebert, México, D.F. 274 pp.

Anderson, J. M. 1973. The breakdown and decomposition of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) litter. I Breakdown, leaching and decomposition. *Oecologia* 12:251-274.

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.

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

Ayala, R. 1998. Ecuaciones para Estimar Biomasa en Pinos y Encinos en la Meseta Central de Chiapas. Tesis de Licenciatura, Ciencias Forestales UNAM, Chapingo, Estado de México.

Babbar, L. I. and J. J. Ewel. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales 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.

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. y Roussopoulos. 1974. Estimating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuels. *Forest Science*. 20:350-356.

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

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.

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.

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

Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler, y J. Wisniewski, 1994. *Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems*. *Science*, 263, pp. 185-190.

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.

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

FAO. Global Forest Resources Assessment 2000 Main Report Forestry Department.

Fitz - Patrick E. A. 1984. *Suelos: su formación, clasificación y distribución*. Editorial Continental. México. 430 pp

Flores V. O. 1991. Análisis de la distribución de la herpetofauna de México. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. 269 pp.

García, A. J. 1984. La biomasa. *Revista Ambiente* No 1, año 8 Pág. 31.

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

García-Oliva, F. 2001. Apuntes del curso biogeoquímica de suelos. Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM – Campus Morelia.

García-Oliva, F. y Ordóñez-Díaz, J.A.B. 1999. El papel de los suelos forestales en la captura de carbono. *Nuestro Bosque* 1 (1): 8-11.

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. y J. Martinez. 1995. Mitigation of Emissions of Greenhouse Gases in Mexico. *Interciencia*, 20:6, pp. 336-342
- Golchin, A., J.M. Oades, J.O. Skjemstad and Clarke P. 1994. *Soil Structure and Carbon Cycling*. *Aust. J. Soil Res.* 32:1043-1068
- Golley, F. 1983. Descomposición. In: *Topical Rain Forest. Ecosystems*. Golley F. (Ed.) New York. pp. 157-166.
- Goudie, A. 1990. *The Human Impact on the Natural Environment*. Basil Blackwell Ltd, Oxford, U.K. 3th Edition. 388 pp.
- Grijpma, I.P. 1984. *Producción Forestal*. Ed Secretaría de Educación Pública (SEP)/Trillas, 3^a Reimpresión. México, D.F. 134 pp.
- Harrison J. A. 2003. El Ciclo Carbónico: Siempre de Ida y Vuelta. *Visionlearning Vol. EAS-2 (3s)*.
- 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.
- Houghton, R.A. y C.M. Woodwell. 1989. Global Climate Change. *Scientific American*, 260:4, 36-40.
- INE-SEMARNAP 2000. *Estrategia Nacional de Acción Climática*. Jiménes Editores e Impresores, S.A. de C.V. México. 220 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. *Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 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. Descomposición of angiosperm tree leaf litter. In: *Biology of Plant Litter Descomposición*. Dickinson C. H. And G. F. J. Pugh (Eds). Vol. I. Academic Press. London.
- John Arthur Harrison, Ph.D. "El Ciclo Carbónico: Siempre de Ida y Vuelta," *Visionlearning Vol. EAS-2 (3s)*, 2003
- 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.

Juma, N. G. 1999. The pedosphere and its dynamics. <http://www.pedosphere.com/>

Lal R., Kimble J.M., Follet R.F., Stewart B.A. 1998. *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press. 609 pp

Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical reviews in Plant Sciences* 22 (2): 151-184.

Lammertink, J.M., J.A. Rojas, F.M. Casillas y R.L. Otto. 1997. Situación y Conservación de los Bosques Antiguos de Pino-encino de la Sierra Madre Occidental y sus Aves Endémicas. Consejo Internacional para la Preservación de las Aves, Sección Mexicana. México, D.F.

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 & Technicaly John Willey & Sons, Inc. New York.

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

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. 1995. Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results. *Interciencia*, 20:6, pp. 388-395.

Masera, O. 1995. Los Bosques y el cambio climático global. Universidad de México, 536-537, 43-47p.

Masera, O.R., T. Hernández, A. Ordóñez, y A. Guzmán. 1995. "Land Use Change and Forestry". In: *Preliminary National Inventory of Greenhouse Gases: Mexico*. UNEP

PROJECT GF/4102-92-01(PP/3011). Instituto Nacional de Ecología, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, U.S. Country Studies Program. Septiembre. México, D.F.

Mas-Porras. 1992. "Evolución de los Recursos Forestales de Michoacán hacia el año 2000". Universidad Michoacana enero-marzo 1992, no. 3: 25-37.

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.

McVaugh, R. 1984. *Compositae*. En: *Flora Novo-Galiciana. A Descriptive Account of the Vascular Plants of Western Mexico*. The University of Michigan Press. Vol. 12. 1157 pp.

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

Noble, I., M. Apps, R. Houghton, D. Lashof, W. Makundi, D. Murdiyoso, B. Murray, W. Sombroek y R. Valentini. 2000. Implications of Different Definitions and Generic Issues. En Watson, R. et al. (eds) *Land Use, Land-Use Change and Forestry*. IPCC-Cambridge University Press, Reino Unido. pp: 55-126.

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.

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: 136-142.

Ordóñez Díaz, J.A.B., Aviña Cervantes F.L., Guerrero Pacheco G. (En revisión) *Comparación de Estudios de Contenido de Materia Orgánica en el Suelo de la Región*

Ordóñez, A. 1999. *Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México DF.

Ordóñez, A., O. Masera y V. Jaramillo. 1998. "Estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea, mantillo, suelos y raíces de los bosques de pino-encino en El Carricito, en la Sierra Madre Occidental. Instituto de Ecología, 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-Díaz, J.A.B. y H. Medrano-Farfán. 2003. "Estimación preliminar del contenido de carbono en los bosques de San Pedro Jacuaro, Michoacán". Bosques y Selvas de Michoacán. Comisión Forestal del Estado de Michoacán. Año 1, Vol. 1, N° 2, Pág. 20-23, abril-junio

Palacios-Roji, S. 2007. Estimación del contenido de carbono en el mantillo del Ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.

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.

Pérez, J. 2006. Estimación del contenido de carbono en mantillo de diferentes tipos de cobertura vegetal y uso del suelo en la Región Purépecha, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. 54p.

Rammamorthy, T. P., R. Bye, A. Lot & R. Fa. 1993. *Biological Diversity of México: origins and distribution*. Oxford University Press, New York/Oxford..

Rosete, F., A. Ordóñez y O. Masera. 1997. "Dinámica de Cambio de Uso del Suelo y Emisiones de Carbono en la Meseta Purépecha". Instituto de Ecología, UNAM. Morelia, México.

Rosete, F., A. Ordóñez y O. Masera. 1997. Dinámica de Cambio de Uso del Suelo y Emisiones de Carbono en la Meseta Purépecha: "El Caso de la Comunidad Indígena de Santiago Tingambato"

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

Salati, E., 1990. Los Posible Cambios Climáticos en América Latina y el Caribe y sus Consecuencias. Report # 90-7-1223, Naciones Unidas y Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. Santiago de Chile, 12-14 de Septiembre, 45 pag.

Schimel, D.S., 1995. *Terrestrial Ecosystems and The Carbon Cycle*. *Global Change Biology*, 1, 77-91.

Schlamadinger, B. y G. Marland. 1996. Full fuel cycle carbon balances of bioenergy and forestry options. *Energy conversion and management*. 37:6/8, p. 813.

Schlesinger, W. 1991. *Biogeochemistry: An analysis of global change*. Academic Press, Inc. Estados Unidos. 443p.

Schneider, S.H. 1989. The Greenhouse Effect: Science and Policy. *Science*, 243:10, 271-281

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. Litterfall, decomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus nepalensis* 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. En Wisniewski, J. y R.N. Sampson (Eds). *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 19-37.

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.

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.

Tapia, E. 2006. Estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea en el Ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, México. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Maestría en Conservación y Manejo de los Recursos Naturales. 76 Pág.

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.

Téllez V.,O. 1995. Flora, vegetación y Fitogeografía de Nayarit, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias UNAM. 166 pp.

Villaseñor R.,J.L. 1991. Las Heliantheae endémicas a México: Una guía hacia la conservación. Acta Bot. Mex. 15: 29-46.

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.

Wege. C. D. and Long A. J. 1995. Key Areas for Threatened Birds in the Neotropics. Bird Life International. Cambridge. U.K. 311pp.

Witkamp, M. and B. S. Ausmus. 1976. Process in decomposition and nutrient transfer in fforest 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 acumulation in selected forests of the Republic of Panama. Biotropica 2(1): 65-50.