



“ESTIMACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA EN EL MUNICIPIO DE ZACAZONAPAN, MÉXICO”

T E S I S:

**QUE PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE:**

LIC. EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A N:

MONICA ALEJANDRA ESPINOZA ZARAGOZA

JOSEFINA AIDEE RIVERA VERGARA

M. EN C. PATRICIA MIRELES LEZAMA

DR. EN G. MARÍA ESTELA OROZCO HERNÁNDEZ

JUNIO 2013



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Tesis suscrita al Proyecto:” Cambios de uso del suelo inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del estado de México: impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero” Clave del Proyecto: 107956 CONACyT



ÍNDICE

RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	13
OBJETIVOS	13
CAPÍTULO . MARCO CONCEPTUAL	
Conceptualización	
1.1.Cambio Climatico	15
1.2. Calentamiento Global	15
1.2.1.Causasdel Calentamiento Global	16
1.2.2. Gases Efecto Invernadero.....	16
1.3. Importancia del Carbono en la naturaleza	17
1.4. Ciclo del Carbono en los ecosistemas.....	18
1.5. Carbono en el Suelo.....	19
1.5.1 Importancia de la Materia Orgánica	21
1.5.1.1. Mineralización	24
1.5.1.2. Humificación.....	26
1.6. Dinámica del Carbono en el Suelo	27
1.7. Captura de Carbono	29
1.8. Sumideros de Carbono.....	29



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

1.9. Emisiones de CO ₂ y captura de carbono en el suelo.....	31
Selva Baja Caducifolia (SBC)	
1.10. Características se la selva baja caducifolia	37
1.11. Selva baja caducifolia en México	38
1.12. Selva baja caducifolia en el Estado de México.....	39
1.13. Especies representativas de la selva baja caducifolia.....	39

CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Localización	42
2.2. Hidrología	43
2.3. Clima	44
2.4. Geología.....	44
2.5. Edafología	46
2.6. Vegetación	49
2.7. Aprovechamiento actual	49
2.8. Actividades económicas	49

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de los puntos de muestreo	52
3.2. Métodos de muestreo	53
3.3. Métodos de Análisis en el laboratorio	58



CAPITULO 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados	63
4.2. Análisis de Resultados y Conclusiones	82
LITERATURA CITADA.....	87
ANEXOS	93

Índice de Figuras

No. de Figura	Pág.
1. Proceso de transformación de la materia orgánica en el suelo	24
2. Modelo de la dinámica del carbono en el suelo	25
3. El ciclo terrestre del carbono: el carbono del suelo y el carbono global disponible	26
4. Principales ecosistemas terrestres y carbono edáfico	31
5. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal	32
6. Distribución de la selva baja caducifolia en México y su ubicación en las diferentes regiones climático-biogeográficas	44
7. Croquis de Ubicación	40
8. Metodología Alternativa	56

Índice de Cuadros

No. de Cuadro	Pág.
1. Producción y Reserva de carbono de los ecosistemas terrestres	29
2. Aprovechamiento actual del suelo	49
3. Coordenadas UTM por perfil y altitud.	53



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Cuadro 4. Descripción Morfológica (Perfil 1)	62
Cuadro 5. Descripción Físicoquímica (Perfil 1)	62
Cuadro 6. Descripción Morfológica (Perfil 2)	64
Cuadro 7. Descripción Físicoquímica (Perfil 2)	64
Cuadro 8. Descripción Morfológica (Perfil 3)	66
Cuadro 9. Descripción Físicoquímica (Perfil 3)	66
Cuadro 10. Descripción Morfológica (Perfil 4)	68
Cuadro 11. Descripción Físicoquímica (Perfil 4)	68
Cuadro 12. Periférico al Perfil 4	69
Cuadro 13. Resumen de tonelaje por hectárea en cada perfil	70

Índice de Mapas y/o Aerofotos

No. de Mapa	Pág
1 Mapa de Ubicación	41
2 Localización de los Puntos de muestreo	52

Índice de Gráficas

No. de Gráfica	Pág
1. Representación gráfica del contenido total de carbono almacenado por perfil.	71



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se estima el almacenamiento de carbono(C) en suelos de selva baja caducifolia, lo cuales están localizados en el municipio de Zacazonapan, Estado de México. Se realizó el levantamiento de cuatro perfiles de suelo se determinó el porcentaje de C, densidad aparente, densidad real, pH y materia orgánica de las muestras. Los resultados obtenidos en campo y en el laboratorio arrojaron los siguientes resultados: el perfil número 3 con un uso forestal presento el mayor contenido de carbono al tener 97.75 tonC/ ha, el perfil número 4 con uso de suelo de agricultura y ganadería extensiva fue el que presento los niveles de carbono más bajo al tener tan solo 27.29 tonC/ ha, esto como resultado del uso lo cual provoca cambios e impactos en la captura de carbono en el suelo. Cabe resaltar que la mayor concentración de C se encontró para el caso de todos los perfiles en los horizontes de 0- 20 cm de profundidad, esto como resultado de una serie de factores naturales como antropogénicos.

Se llevo a cabo el análisis de resultados, el cual fue realizado con base a los estudios de diversos autores que han realizados aportaciones importantes en el tema, es importante destacar que en el área de estudio no se cuenta con ningún trabajo científico realizado en el tema de captura de carbono.



INTRODUCCIÓN

El incremento en la concentración de CO₂ atmosférico y su relación con el cambio climático, han promovido un interés en el estudio de la fijación de carbono en los ecosistemas terrestres (Houghton, 1996). La mayoría de estos actúan como reservorios fijando CO₂. Schimel, (1995). Los bosques y selvas han adquirido mayor importancia por ser piezas claves en el ciclo del carbono atmosférico al fijar el bióxido de carbono (CO₂) durante la fotosíntesis. De tal modo, los bosques y selvas constituyen grandes almacenes de carbono en comparación con otros tipos de ecosistemas porque tienen la capacidad de almacenar carbono de 10 a 100 veces más por unidad de área (Masera et al., 1997). Los suelos orgánicos pueden actuar como fuentes o sumideros de bióxido de carbono atmosférico dependiendo de las prácticas de uso de suelo, el clima, la textura y la topografía (Zinn et al., 2005; Lal, 2005).

Los ecosistemas terrestres han sido ampliamente reconocidos por su capacidad para la captura de carbono, existen pocos estudios sobre el almacenamiento de carbono en selva baja caducifolia, por tal motivo se desarrolló este trabajo de investigación teniendo como principal propósito estimar la cantidad de carbono capturado en los suelos de selva baja caducifolia y que presentan los siguientes usos: forestal, ganadería extensiva, forestal arbórea, agricultura de temporal, en el Municipio de Zacazonapan, Estado de México.

Esta investigación consta de cuatro capítulos, en el primero se estableció el marco conceptual referencial que permitiera enfocar los temas y elementos esenciales del trabajo. Entre los conceptos y temas pertinentes se analizaron: cambio climático, gases efecto invernadero, y entorno del calentamiento global entre otros. Con estos conceptos se da una claridad sobre los diferentes componentes que hacen necesario y pertinente el tema de la captura de carbono.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

En el capítulo 2 se presenta la descripción del medio físico del municipio de Zacazonapan, en este apartado se incluye la localización, geología, hidrología, etc., con la finalidad de tener una comprensión articulada de los diversos factores.

Para el capítulo 3 se presenta el desarrollo de la metodología utilizada en el trabajo de campo para la cuantificación de carbono.

Finalmente se presenta un análisis sobre los resultados obtenidos, las conclusiones que se extrajeron del mismo, y las recomendaciones para realizar la cuantificación de carbono capturado en el Municipio de Zacazonapan.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se ha producido una creciente preocupación mundial en torno al calentamiento global de la tierra, consecuencia de dicho calentamiento se presentan: cambios en la cantidad y distribución de las precipitaciones, derretimiento de glaciares, aumento en el nivel del mar, inundaciones de las zonas costeras, entre otros.

La concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero ha aumentado a partir de la revolución industrial y particularmente en los últimos 50 años debido a las diversas actividades humanas, sobre todo la utilización de combustibles fósiles y los cambios en el uso de los diferentes tipos de suelos. Lo anterior, ha contribuido a cambios en el clima del planeta (IPCC, 2001).

Este problema se presenta debido a los gases efecto invernadero (GEI) y que son reconocidos en el protocolo de Kioto, a saber: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). Aunque el principal contribuyente individual es el CO_2 (Solórzano, 2003).

Las emisiones de CO_2 proceden, principalmente, de la quema de combustibles fósiles, tanto en grandes unidades de combustión –por ejemplo, las utilizadas para la generación de energía eléctrica– como en fuentes menores distribuidas, por ejemplo los motores de los automóviles y los quemadores utilizados en edificios residenciales y comerciales. Las emisiones de CO_2 también se originan en ciertos procesos industriales y de extracción de recursos, así como en la quema de bosques que se lleva a cabo para el desmonte (IPCC, 2005).

Sin duda alguna los cambios que se están presentando a consecuencia del cambio climático representan un gran peligro para la subsistencia de los ecosistemas y de la vida en el planeta.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Algunos ecosistemas funcionan como reguladores del ciclo del carbono, uno de ellos son los ecosistemas terrestres, que tiene como una de sus variables funciones la captura de carbono, los suelos de la selva baja caducifolia han adquirido mayor importancia en las últimas décadas ya que constituyen y están formando parte de los grandes almacenes de carbono en el mundo, es por esta razón que surgió la inquietud de elaborar la presente investigación, la cual se enfoca específicamente en la estimación de carbono en los suelos de la selva baja caducifolia del municipio de Zacazonapan, Estado de México.



PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo influye el uso de suelo forestal, agrícola y ganadero a la captura de carbono en suelos con cobertura de selva baja caducifolia?

OBJETIVO GENERAL

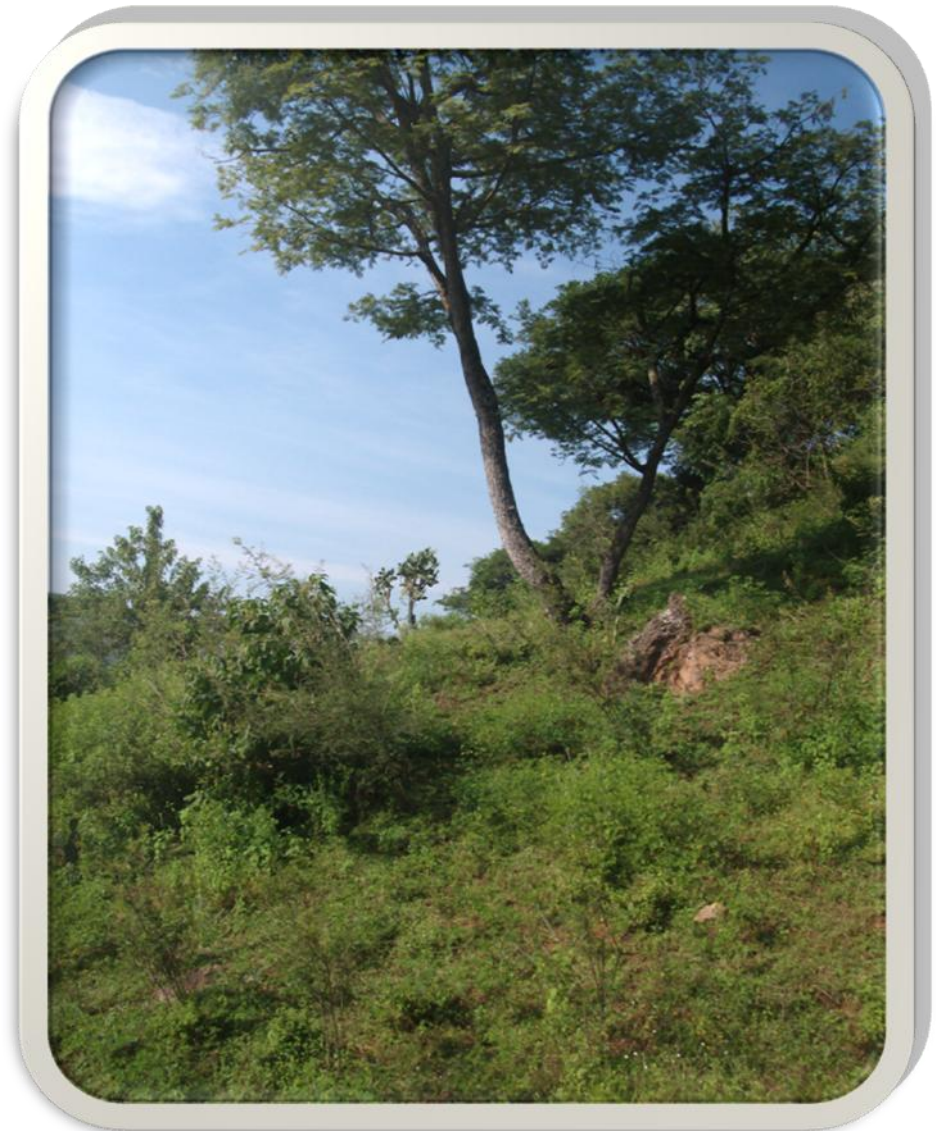
Estimar la cantidad de carbono almacenado en suelos con cobertura de selva baja caducifolia, así como sus cambios a uso de ganadería extensiva y agricultura en terrenos del municipio de Zacazonapan Estado de México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la selección de los puntos de muestreo y su verificación.
- Analizar la metodología de muestreo propuesta para captura de carbono en suelos.
- Realizar la caracterización morfológica de los suelos en campo; física y química en laboratorio mediante la NOM- 021-SEMRNAT-2000.
- Calculo del almacén de carbono para cada uso de suelo



CAPITULO 1



MARCO CONCEPTUAL



I. CONCEPTUALIZACIÓN

1.1. Cambio climático

Importante es la variación estadística en el estado medio del clima o en su *variabilidad*, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. Se debe tener en cuenta que la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMCC), en su Artículo 1, define ‘cambio climático’ como: ‘un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables’. La CMCC distingue entre ‘cambio climático’ atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y ‘variabilidad climática’ atribuida a causas naturales (IPCC 2001).

1.2. Calentamiento Global:

El principal efecto potencial del cambio climático es el calentamiento global del planeta, a consecuencia de la intensificación del efecto invernadero.

Los científicos han cuantificado este calentamiento global en lo relativo al pasado reciente de la Tierra. En los últimos cien años, la temperatura media ha aumentado entre 0.3 y 0.7 °C. Una parte importante de este calentamiento se atribuye al aumento de emisiones de dióxido de carbono y otros gases invernadero (Ludevid- Anglada 1997).

Se considera que este aumento podría hacerse más acusado aún en el futuro. La temperatura media en la superficie terrestre podría aumentar entre 1.5 y 5.5°C si se dobla la concentración de dióxido de carbono, escenario posible para el próximo siglo (Ludevid-Anglada 1997).



1.2.1. Causas del Calentamiento Global

Dentro de las actividades humanas se puede observar que algunas tienen un impacto directo, que ha podido ser cuantificado y medido, en el cambio global del medio ambiente.

Las principales actividades de este tipo son las siguientes: el consumo de combustibles fósiles, la producción y la emisión de halocarbonos, el consumo de combustibles hechos con biomasa, los procesos de cambio de uso del suelo, algunas prácticas agrarias, como son la extensión del cultivo del arroz, la expansión de la actividad ganadera o a la difusión del empleo de abonos nitrogenados (Ludevid- Anglada 1997).

1.2.2. Gases Efecto Invernadero

Los gases efecto invernadero son gases que provocan que la radiación infrarroja se retenga en la atmósfera, por lo que se calienta la superficie de la tierra y la parte inferior de la atmósfera. Han estado presentes en la atmósfera de la Tierra en cantidades residuales en gran parte de la historia de la Tierra (Leggett 1996).

Los gases efecto invernadero presentes en la atmósfera desempeñan un papel clave en el sistema climático, ya que absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie del Sol y vuelven a irradiar esta energía. De hecho, lo que hacen es dejar pasar las radiaciones de onda corta y absorber y volver a emitir las radiaciones de onda larga (Ludevid - Anglada 1997).

De acuerdo a Figueruelo y Davila (2004)

“Son “gases invernadero” aquellos cuyas energías de transiciones vibración-rotación coinciden con las energías de la radiación IR emitida por la Tierra, es decir aquellos cuyos espectros de absorción del CO_2 y H_2O (g), los dos componentes atmosféricos mayoritarios tras las moléculas inactivas en IR, O_2 y N_2 . El siguiente gas, no noble, más abundante en la atmósfera es el CH_4 , cuyas vibraciones de tensión del enlace C—H caen fuera de la región IR terrestre, pero no así las flexiones de ángulo HCH con máximo de absorción de $7,7 \mu\text{m}$ al principio de la radiación IR terrestre. El siguiente gas en



abundancia en atmósferas no contaminadas es el N_2O (el “gas hilarante”). La banda de vibración de flexión tiene un máximo a $8,6 \mu m$ y una de sus bandas de tensión a $7,7 \mu m$ es coincidente con la del CH_4 , siendo, pues, también activo en la absorción de la radiación IR terrestre de menor longitud de onda. El CO es el siguiente componente atmosférico, pero la frecuencia de su modo normal de vibración cae fuera de la frecuencia de IR terrestre. Por último, como componente natural de la atmósfera con efecto invernadero esta el ozono, ya que el máximo de una de sus vibraciones de tensión está entre 9 y $10 \mu m$ y su vibración de flexión está muy próxima a la del CO_2 . Los compuestos clorocarbonados y fluorocarbonados son ejemplos de gases contaminantes de origen antropogénico que contribuye al efecto invernadero, pues la absorción debida a la tensión de los enlaces $C-F$ se centra a unos $9 \mu m$ y la tensión de los enlaces $C-Cl$ y la de flexiones entre C y halógenos (F y Cl) también se sitúan en el intervalo de longitudes de onda de la radiación terrestre”.

1.3. Importancia del carbono en la Naturaleza

En la naturaleza el carbono se encuentra por doquier: en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, que 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 de la vida (Smith et., al 1993). La mayor parte del carbono de la Tierra se encuentra en rocas bajo la forma de carbonatos, como la piedra caliza y el mármol. Las rocas se gastan poco a poco y con el tiempo los carbonatos vuelven al ciclo del carbono. Sin embargo, en el fondo del mar se forman otras rocas a partir de los sedimentos de animales y plantas muertas, de modo que la cantidad de carbono en el ciclo permanece casi constante (Sampson et al., 1993).



1.4. Ciclo del Carbono en los ecosistemas

El carbono es necesario en grandes cantidades como bloque básico como construcción de toda la materia orgánica. La fuente última del carbono es el dióxido de carbono, el cual se transforma en compuestos orgánicos por la fotosíntesis. En la naturaleza, el movimiento del carbono es de la reserva de dióxido de carbono atmosférico a las plantas verdes y de ahí a los consumidores, y continúa a los organismos microbianos que descomponen la materia orgánica. Las algas y las bacterias autótrofas también incorporan o fijan carbono del CO_2 atmosférico para producir carbohidratos y otras sustancias orgánicas complejas. Estas se distribuyen a través de la cadena alimenticia y constituyen los tejidos de la materia viva. Los combustibles fósiles, las rocas, los carbonatos y el dióxido de carbono disuelto en los océanos son importantes reservas adicionales de carbono, aunque los primeros no son accesibles de manera natural para las plantas y los animales. Estas fuentes ligadas de carbono quedan disponibles cuando el CO_2 (producto de la descomposición microbiana) que transforma los carbonatos insolubles en bicarbonatos solubles (Glyn y Heinke, 1999).

El retorno del dióxido de carbono a la reserva atmosférica, se verifica de diversas maneras. Tal vez la más conocida es a través de los procesos de respiración de los humanos y los animales. Sin embargo, con mucho las cantidades más grandes de dióxido de carbono regresan a la atmósfera por la actividad de grupos de bacterias y hongos, los cuales utilizan materia orgánica muerta como fuente de alimento. Estos microorganismos oxidan la materia orgánica muerta ya sea de forma directa o varias etapas, obteniendo CO_2 y H_2O como productos finales con lo cual completan el ciclo (Glyn y Heinke, 1999). El ciclo de carbono en la vegetación comienza con la fijación del CO_2 por medio de los procesos de fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, catalizado por la energía solar, el CO_2 y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta, y el CO_2 liberado como producto de este proceso lo hace a través de las hojas, ramas, fuste o raíces. Otra parte de los carbohidratos son consumidos por los animales, que también respiran y liberan CO_2 . Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por macro y micro-



organismos, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en CO_2 y regrese a la atmósfera (Schimel 1995 y Smith et al.1993). La fijación de carbono por bacterias y animales contribuye también a disminuir la cantidad de bióxido de carbono, aunque cuantitativamente es menos importante que la fijación de carbono en las plantas.

1.5 Carbono en el Suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69.8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001).

Oliva y García (1998), afirman que, en los ecosistemas terrestres, la vía más importante del flujo de carbono atmosférico a la vegetación y el suelo es biológica, por medio de la fotosíntesis y la descomposición, respectivamente. Este flujo involucra muchos procesos interactuantes, los cuales mantienen el equilibrio dinámico del intercambio de gases atmósfera planta suelo.

Los suelos contienen más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera (Swift, 2001). El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica (Jackson, 1964).

El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964). En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO_2 a la atmósfera (Swift, 2001, y Aguilera, 2000), erosión y lixiviación. Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo (55 Pg C año^{-1} a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable ($0,4 \text{ Pg C año}^{-1}$) (FAO, 2001) El CO_2 emitido desde el suelo a la atmósfera no sólo se produce por la mineralización de la MOS (Materia Orgánica del Suelo) donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas (Fortín et al., 1996).



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Se estima que el total del C acumulado en los suelos de todo el mundo es mayor que la suma de éste en la atmósfera y en la vegetación (Swift, 2001). El Carbono que el suelo secuestra es considerado como un servicio ambiental de alto beneficio para la humanidad (Arnold *et al.*, 1990).

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología (INE, 1995) la vegetación y el suelo sin manejo forestal retienen de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas. De manera que la liberación de carbono a la atmósfera surgen como resultado de los cambios en el uso del suelo, pero principalmente de la deforestación, entre 1850 y 1987 se ha estimado entre 80 y 150 GtC (Houghton y Skole, 1990). Los componentes de los flujos en la atmósfera son: 1) la quema asociada con los cambios de uso del suelo; 2) la descomposición de la biomasa *in situ* (raíces, tocones, ramas, hojarasca, etc.); 3) oxidación de la madera cortada (papel, madera, aserrín, etc.); menos 4) la regeneración de la masa vegetativa. Aunque el incremento de la liberación de carbono en los siglos XIX y principios del XX, se originó en las zonas templadas (máximo de 0.5 GtC por año), las que se ubicaron como las más importantes fuentes de carbono, durante las últimas décadas fueron las zonas tropicales. Estimaciones del flujo derivados del cambio de uso de suelo en 1980 tuvieron un rango de 0.6 a 2.5 GtC, virtualmente todo este flujo proviene de los trópicos. Las pocas regiones que cuentan con datos sugieren que el flujo anual es ahora mucho más alto de lo que fue en 1980.

La mayor parte de los seres vivos terrestres (plantas, animales y protistas) y de los residuos asociados con ellos tarde o temprano se incorporan al suelo, por actividad microbiana. Sin esta actividad los ciclos de los nutrientes como el carbono o el nitrógeno, no se completarían y entonces la vida sobre la tierra está en peligro. Los suelos constituyen una capa muy delgada de material sobre la superficie terrestre. La profundidad del suelo y sus propiedades fisicoquímicas varían de acuerdo con el lugar, pero en general en el suelo tiene cinco componentes principales, partículas minerales, residuos orgánicos, agua, gases y sistemas biológicos (Glyn y Heinke, 1999).

1.5.1 Importancia de la Materia Orgánica



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

La materia orgánica del suelo (MOS) puede separarse en componentes vivos (raíces, macro y microorganismos) que representan 4% del carbono orgánico total, e interés (materia macro orgánica y humus), con cerca de 96% (Theng et al., 1989). La MOS tiene una importante función en el reciclaje de nutrientes y en la productividad del suelo (Sánchez y Logan, 1992).

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas (p. ej. producción y economía) como en sus funciones ambientales - entre ellas captura de carbono y calidad del aire así como determinante la actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica. La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Robert, 1996). La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica (Feller, 1979; Balesdent, 1996).

En general la formación orgánica del suelo tiene un papel fundamental, regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas.

Entre los procesos químicos de más importancia, en los que interviene la materia orgánica se pueden mencionar las siguientes (Feller, 1979; Balesdent, 1996).

- *Tiene efectos importantes sobre la temperatura del suelo:* tiene una conductividad térmica más baja que la materia mineral, mientras que las diferencias en la capacidad calorífica son bajas porque dependen del contenido de humedad. Al tener una conductividad térmica baja, la materia orgánica mantiene las temperaturas constantes en el tiempo, reduciéndose las oscilaciones térmicas. Al tener un color más oscuro que el suelo mineral disminuye la radiación reflejada, calentándose más (Feller, 1979; Balesdent, 1996).



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

- *Mejora de la disponibilidad de micronutrientes* (principalmente hierro, manganeso, zinc y cobre) para las plantas así como en la reducción de los efectos tóxicos de los cationes libres. Muchos metales que precipitarían en suelos en condiciones normales, se encuentran mantenidos en la solución del suelo en forma quelatada. Es probable que estos micronutrientes sean transportados hacia las raíces de las plantas en forma de quelatos complejos solubles (Feller, 1979; Balesdent, 1996).
- *Mejora la nutrición en fósforo* es posible que a través de favorecer el desarrollo de microorganismos que actúan sobre los fosfatos. La formación de complejos arcillo-húmicos o la quelatación contribuyan a solubilizar los fosfatos inorgánicos insolubles. Parece que las sustancias húmicas aumentan la liberación de potasio fijado a las arcillas (Feller, 1979; Balesdent, 1996).
- *Contiene un número elevado de grupos funcionales* (carboxílicos, hidroxílicos, aminoácidos, amidas, cetonas y aldehidos). Entre ellos, son los grupos carboxílicos los que contribuyen en mayor grado a la adsorción de moléculas de agua en forma de puentes de hidrógeno o enlaces coordinados. Los grupos funcionales de la materia orgánica proporcionan capacidad de intercambio catiónico, contribuyendo por tanto a aumentarla en suelos con bajo contenido en arcilla. También proporcionan una mayor capacidad tampón, lo que afectará a la cantidad de enmienda a utilizar si se desea subir el pH (mayor cantidad de enmienda a mayor capacidad tampón) (Feller, 1979; Balesdent, 1996).
- *Acidifica el medio*, favoreciendo así indirectamente la absorción de nutrientes por las plantas. Características biológicas, la materia orgánica sirve de fuente de energía para los microorganismos del suelo. Favorece la presencia de lombrices que contribuyen a estructurar el suelo (Feller, 1979; Balesdent, 1996).
- *Presentan actividad supresora frente a hongos* y se utilizan para combatir hongos patógenos. La supresión puede ser biótica o abiótica y puede deberse a diversos



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

factores, entre ellos, factores físicos relacionados con la disponibilidad de oxígeno y el drenaje, un pH inadecuado al desarrollo de los microorganismos patógenos, presencia o ausencia de elementos como el nitrógeno, etc (Feller, 1979; Balesdent, 1996).

- *Proporciona actividad enzimática:* parece que existen enzimas activas adsorbidas al humus o a las partículas de arcilla no ligadas a las fracciones vivas. Una de las más abundantes es la ureasa. En general las enzimas contribuyen a hidrolizar moléculas de cadena larga, haciendo disponibles para las plantas algunos elementos resultantes de la hidrólisis (Feller, 1979; Balesdent, 1996).
- *Sirve de vehículo de diversos microorganismos de interés:* entre ellos, los inóculos de rhizobium, azotobacter, de hongos vesículo-arbusculares, ectomicorrizas y agentes de control biológicos (tipo trichoderma) (Feller, 1979; Balesdent, 1996).

La materia orgánica del suelo tiene una composición muy compleja y heterogénea y está por lo general mezclada o asociada con los constituyentes minerales del suelo. Se han desarrollado un gran número de métodos de separación para identificar los distintos constituyentes de la materia orgánica del suelo, grupos cinéticos, p. ej. Grupos que pueden ser definidos por una cierta tasa de recambio del carbono. El sistema tradicional de separación en fracciones fúlvicas y húmicas no separa las fracciones con diferentes tasas de recambio (Balesdent, 1996) como se considera en los modelos. Los métodos de separación física tales como el fraccionamiento según el tamaño de las partículas, la densidad de las fracciones o las fracciones por tamaño de los agregados permiten la separación de fracciones cinéticas significativas (Feller, 1979; Balesdent, 1996).

En la evolución de la materia orgánica se pueden considerar diversas etapas, según los compuestos que intervienen y las reacciones que se llevan a cabo. En este sentido, la materia orgánica del suelo puede asemejarse a un conjunto de sustancias carbonadas transformadas por la biomasa microbiana a distinta velocidad (Jordan 2005).



En primer lugar, los restos orgánicos sufren un proceso de transformación mecánica, en el que la materia orgánica se fragmenta por acción, fundamentalmente de los animales del suelo. La actividad de los animales inferiores y superiores del suelo tiene como primer resultado la mezcla de las partículas de origen orgánico con las de origen mineral que ya existen en el suelo. Este proceso de mezcla favorece el ataque realizado por las bacterias y los hongos. Posteriormente, la materia orgánica fresca comienza a sufrir procesos de transformación química intensos.

En este proceso de transformación pueden distinguirse dos etapas:

1.5.1.1. Mineralización

La Mineralización primaria, o mineralización rápida. Se trata de un complejo sistema de reacciones bioquímicas que actúa sobre los compuestos orgánicos sencillos que hay en el suelo, como resultado de la descomposición y biodegradación de la materia orgánica aportada. A su vez, esta etapa consta de dos fases:

- a. Proliferación microbiana, a partir de sustancias fáciles de descomponer. En la fase anterior al aporte de materia orgánica fresca, los organismos del suelo presentan una actividad bioquímica muy baja. La producción de CO_2 como resultado de la respiración de los microorganismos es residual, y la materia orgánica tiene una proporción C/N muy baja. Sin embargo, tras el aporte de materia orgánica al suelo, la relación C/N se incrementa, y el número de microorganismos se eleva muy rápidamente, debido a la existencia en el suelo de energía y nutrientes equilibrados fácilmente asimilables por los microorganismos. Como resultado de su actividad son liberados al medio, productos resultantes de la degradación de la materia orgánica fresca, como sales minerales, CO_2 , H_2O y energía en forma de calor. Si los restos orgánicos son pobres en nitrógeno, los microorganismos pueden utilizar el nitrógeno de origen mineral disponible en el suelo (fundamentalmente en forma de nitrato), compitiendo con las plantas. Debido a la alta actividad microbiana, el contenido en nitrógeno del suelo baja muy rápidamente (Jordan 2005).



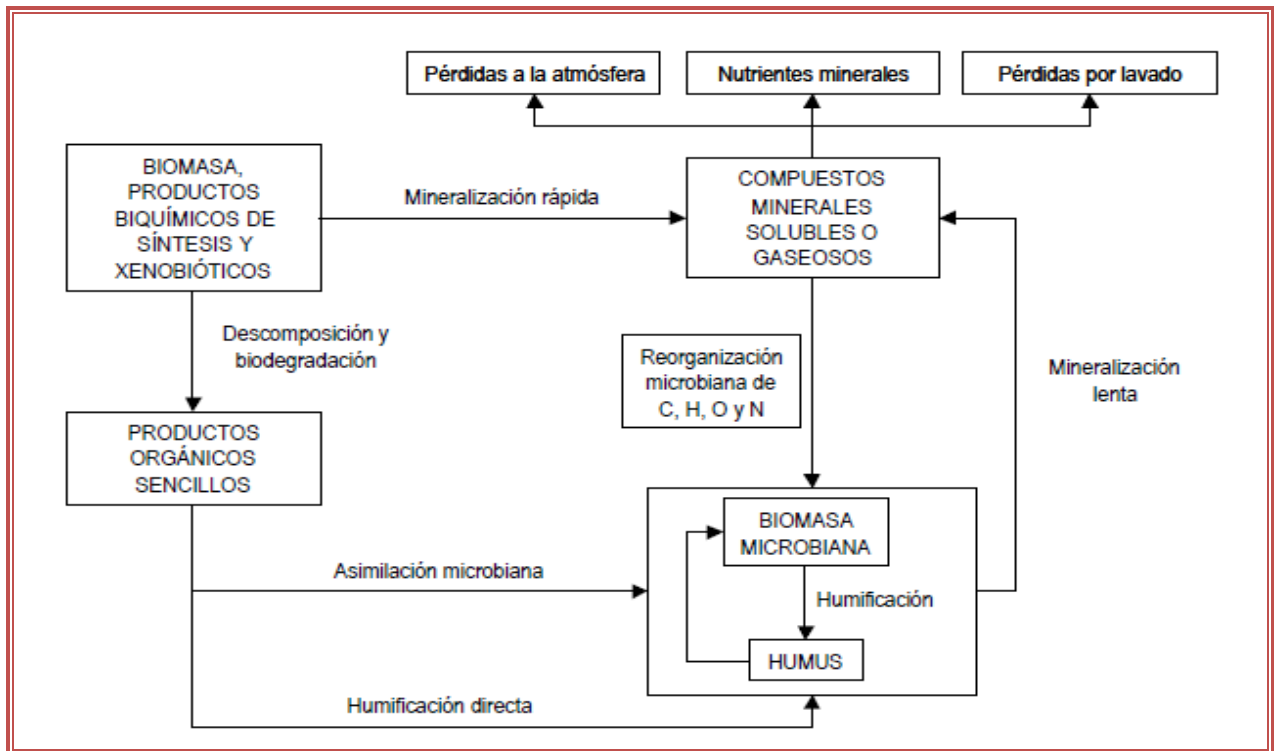
- b. Descenso de la población microbiana, como resultado del descenso de carbono disponible, que ha salido del sistema en forma de CO_2 . La relación C/N de los residuos, por lo tanto, es baja en este momento. Durante esta fase son liberadas al medio, sustancias nutritivas orgánicas y minerales originadas tanto por la degradación de la materia orgánica fresca como por la muerte de los microorganismos del suelo. Las sustancias minerales liberadas en esta fase son fácilmente asimilables por las plantas, y pueden agruparse de la siguiente manera:
- i. Productos inmediatamente fijadas por las arcillas y el humus, debido a las propiedades coloidales de estos.
 - ii. Productos que sufren humificación, gracias a procesos de reorganización microbiana.
 - iii. Sustancias que se pierden por lixiviado (Jordan 2005).

1.5.1.2. Humificación

El proceso de humificación engloba no solo la transformación de los productos originados por la descomposición de las moléculas de alto y bajo peso molecular procedentes de tejidos de plantas superiores, animales y constituyentes celulares microbianos, sino también las reacciones químicas de oxidación, condensación y polimerización y los procesos biológicos de síntesis microbiana, dando lugar a compuestos de alto y bajo peso molecular que no se forman en las células vivas y que son constituyentes típicos de suelos.

La adición de materia orgánica es puntual, esta fase se inicia inmediatamente después de la fase de proliferación microbiana, y prosigue a medida que disminuye la población microbiana. La actividad de los microorganismos decrece paulatinamente debido a la falta de carbono (cuya oxidación permite la obtención de energía). En ese momento intervienen las bacterias nitrificantes, de modo que el nivel de nitratos vuelve a los valores iniciales del proceso. El producto final está constituido por los compuestos húmicos (Fig.1). El humus sufre también procesos de mineralización, pero en este caso se trata de una degradación más lenta, debido a la estabilidad de las sustancias que lo componen (Jordan 2005).

Figura 1: Proceso de transformación de la materia orgánica en el suelo

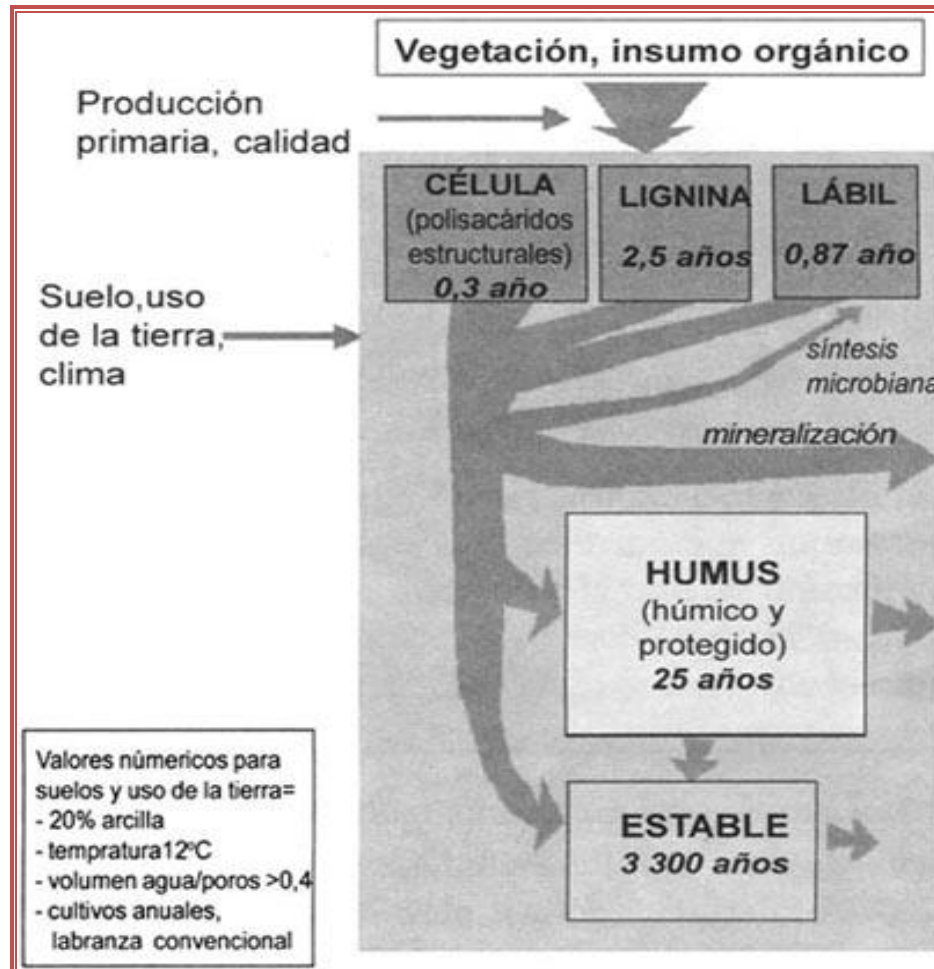


Fuente: Jordan 2005.

1.6. Dinámica del Carbono en el Suelo

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) (Figura 2). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y sola una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 Pg/año), (Balesdent et al., 2000).

Figura 2. Modelo de la dinámica del carbono en el suelo



Fuente: Balesdent *et al.*, (2000)

Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra.

El ciclo terrestre del carbono se presenta en la Figura 3. El carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima en cerca de 1 500 Pg C a 1 m de profundidad (cerca de 2 456 a dos metros de profundidad). El carbono inorgánico representa cerca de 1 700 Pg pero es capturado en formas más estables tales como el carbonato de calcio. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenan



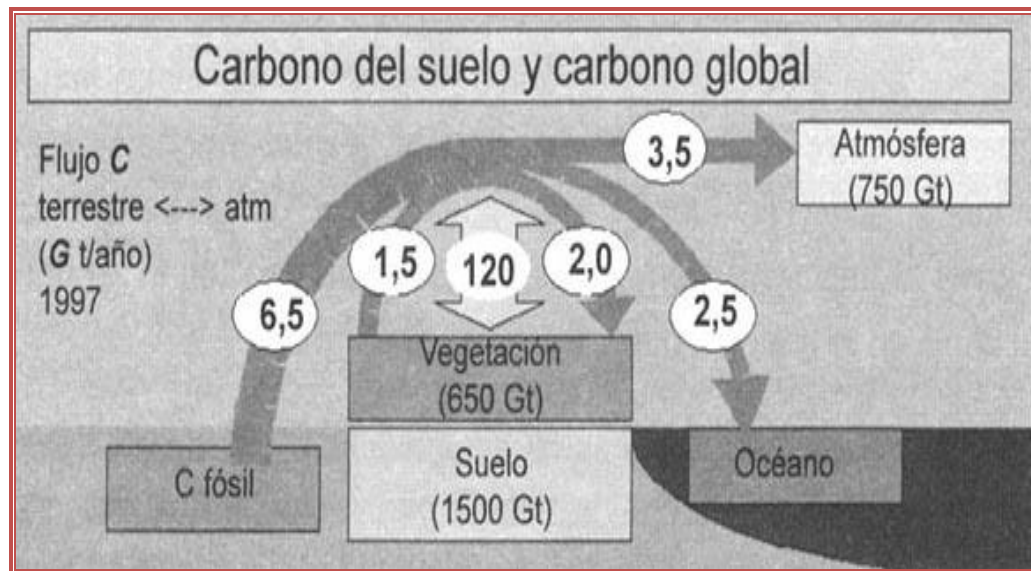
Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

considerablemente menos cantidades que los suelos (International Geosphere Biosphere Program, 1998).

Figura 3. El ciclo terrestre del carbono: el carbono del suelo y el carbono global disponible.



Fuente: *International Geosphere Biosphere Program* (1998).

Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO₂. Históricamente se han notado grandes variaciones.

Houghton (1995) estima que las emisiones correspondientes al cambio de uso de la tierra -deforestación e incremento del pastoreo y de las tierras cultivadas fueron cerca de 140 Pg entre 1850 y 1990 (de 0,4 Pg/año en 1850 a 1,7 Pg/año en 1990), con una liberación neta hacia la atmósfera de 25 Pg de carbono.

De acuerdo con IPCC (2000), la pérdida histórica de los suelos agrícolas fue de 50 Pg de carbono en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación.



1.7 Captura de Carbono

La investigación en esquemas de captura de carbono por sistemas naturales se encuentra relacionada con el estudio del valor de las funciones ecológicas de los sistemas naturales. Aunque el concepto de ciclo de carbono en la naturaleza y la capacidad de absorción del suelo y el océano ha sido conocido durante largo tiempo, no fue sino hasta 1976 que la idea de los bosques como almacenadores de las emisiones de combustibles fósiles fue propuesto por primera vez WRI (2001). El renovado interés en esta función ecológica de los ecosistemas terrestres aparece cuando investigadores empiezan a entender el valor total de la naturaleza y se enfocan a desarrollar esquemas para conservar y restaurar dicho valor (Department for Transport, Local Government and Regions, 2002). Cuando hablamos de captura de carbono nos referimos a uno de los muchos valores de uso indirecto del ecosistema, también conocida como función ecológica.

Los mecanismos para la captura de carbono parten de los ecosistemas boscosos. El IPCC estima en su segundo informe de evaluación, que entre 60 y 87 GtC (gigatoneladas) podrían conservarse o captarse en los bosques para el año 2050 (IPCC, 2001).

1.8 Sumideros de Carbono

Se entiende por sumidero “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera” (Naciones Unidas, 1992). Los elementos capaces de generar este flujo de carbono desde la atmósfera son el suelo, los océanos y los bosques; pero la fijación de carbono por parte de los océanos, además de ser difícil de contabilizar, no depende directamente de la actividad humana, por lo que el Protocolo de Kyoto considera como sumideros a tener en cuenta en las variaciones de emisiones, las actividades de uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura; son las conocidas como actividades LULUCF (Land-Use, Land-Use Change and Forestry) (Castillo y León 2005).

Los bosques y las plantas, y en general las formaciones vegetales, actúan como sumideros a través de su función vital principal: la fotosíntesis. Mediante la fotosíntesis los



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

vegetales captan CO_2 de la atmósfera o el que se encuentra disuelto en el agua y, con la ayuda de la luz solar, lo utilizan en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares que acumulan en la biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico). Las plantas, al mismo tiempo que absorben CO_2 a través de la fotosíntesis, también lo emiten mediante su respiración, pero en menor cantidad, por lo que el saldo neto de emisión es negativo, contribuyendo así a la reducción de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera a través de los denominados reservorios de carbono (Castillo y León 2005).

El almacenamiento de carbono por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento: dado que aproximadamente el 50 por ciento de la biomasa está formada por carbono (Foro de Bosques y Cambio Climático, 2004). Sin embargo es preciso matizar que el almacenamiento del carbono en los bosques tiene un carácter temporal, ya que el CO_2 almacenado en la biomasa vuelve a la atmósfera con la deforestación, (Castilla y León 2005). Pero la mayor parte del carbono almacenado por los bosques se encuentra en los suelos: según distintas fuentes, el suelo de los bosques almacena entre 1,5 (US Environmental Protection Agency) y 2,5 (IPCC 1996) veces más carbono que la vegetación. El almacenamiento del carbono en el suelo se produce a través de la formación y descomposición de la materia orgánica. La hojarasca, pequeñas ramas se depositan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes se irá convirtiendo en materia orgánica estable, capaz de almacenar el carbono durante milenios. De esta forma, los suelos constituyen un sumidero permanente, frente a la biomasa forestal que tiene un carácter temporal, (Castillo y León 2005).

A pesar de la importancia de los suelos en el secuestro de carbono y de su almacenamiento durante periodos de tiempo muy largos y de la importancia de las praderas y otros cultivos agrícolas, el Protocolo de Kyoto solo considera sumideros las actividades humanas directamente relacionadas con el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (Castillo y León 2005).



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

1.9. Emisiones de CO₂ y captura de carbono en el suelo

Debido a que el carbono orgánico de los suelos es más sensible a la actividad humana, se han realizado cálculos de cuanto carbono se acumula en cada tipo o clase de suelos existentes en el planeta (Cuadro 1) (Gallardo y Merino 2007).

Cuadro 1: Producción y Reserva de carbono de los ecosistemas terrestres

Ecosistema	Superficie	Biomasa(ecosistema)	Biomasa(mundial)	Producción (ecosistemas)	Producción (mundial)	Carbono suelo (ecosistema)	C/N suelo	Carbono suelo (mundial)	Carbono (mundial)	Total
(Unidades)	(X 106 Km ²)	(MgCha ⁻¹)	(PgC)	MgCha ⁻¹ a ⁻¹)	(PgCa ⁻¹)	(MgCha ⁻¹)	(media)	(PgC)	(PgC)	
Bosque Tropical	17 a 25	120 a 190	215 a 230	7 a 19	14 a 22	13	10	214 a 250	428 a 553	
Bosque Templado	10 a 13	57 a 140	59 a 139	4	6.5 a 8.1	90	14	100 a 153	159 a 292	
Bosque Boreal	12 a 14	42 a 90	88 a 57	2.5	2.6 a 3.2	150	14	338 a 471	395 a 559	
Sabana	15 a 25	18 a 29	66 a 79	3.5 a 8	14.9 a 17.7	54	16	120 a 264	326 a 330	
Pradera Templada	9 a 15	7 a 14	9 a 23	6 a 7	5.3 a 7	230	11	170 a 295	200 a 304	
Agroecosistemas	14 a 15	43	3 a 4	3	4.0 a 5.0	s.d	10	128 a 180	131 a 169	
Semiárido, matorral	42 a 46	2 a 4	8 a 10	1	1.4 a 3.5	s.d	10	20 a 191	159 a 199	
Tundra y Humedales	10 a 12	2 a 3	17 a 21	0.5 a 30	0.5 a 4.3	220	20	117 a 225	357 a 367	
Total	150	s.d	466	s.d	60 a 63	s.d	s.d	1500 a 2000	2200 a 2500	

Fuente: Gallardo y Merino 2007



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Esta tabla muestra los diferentes contenidos medios de carbono de los diferentes ecosistemas.

Los ecosistemas terrestres se diferencian considerablemente en la cantidad de carbono acumulado en el suelo, independientemente de la cantidad de biomasa vegetal. Parte de estas diferencias se deben a las muy diferentes condiciones climáticas que afectan la actividad de los microorganismos del suelo responsables de la descomposición de los restos vegetales, pero también la materia orgánica de los suelos (Gallardo y Merino 2007).

En la Figura 4 se observa como los bosque tropicales, con abundante biomasa vegetal y elevada producción, poseen poco carbono, dado el escaso tiempo medio de mineralización de los residuos vegetales (unos seis meses): En el extremo opuesto se encuentra la tundra con escasa biomasa vegetal y producción, pero con una fuerte acumulación de carbono, dado que el tiempo medio de residencia es de siglos, debido a que el frío inhibe la actividad microbiana y, como consecuencia, la descomposición orgánica (Gallardo y Merino 2007).

Los suelos que más carbono acumulan son los de la taiga (bosques boreales) con casi 150 Mg C ha^{-1} seguidos por los bosques templados, con valores cercanos a 90 Mg C ha^{-1} , para seguir disminuyendo cuando se llega a la estepa; baja también a menos de 60 Mg C ha^{-1} en la sabana y aún más en los bosques tropicales, máxime cuando esto tiene una estación seca; las praderas templadas y los humedales, por su parte, acumulan gran cantidad de carbono (cerca de 225 Mg C ha^{-1}) (Gallardo y Merino 2007).

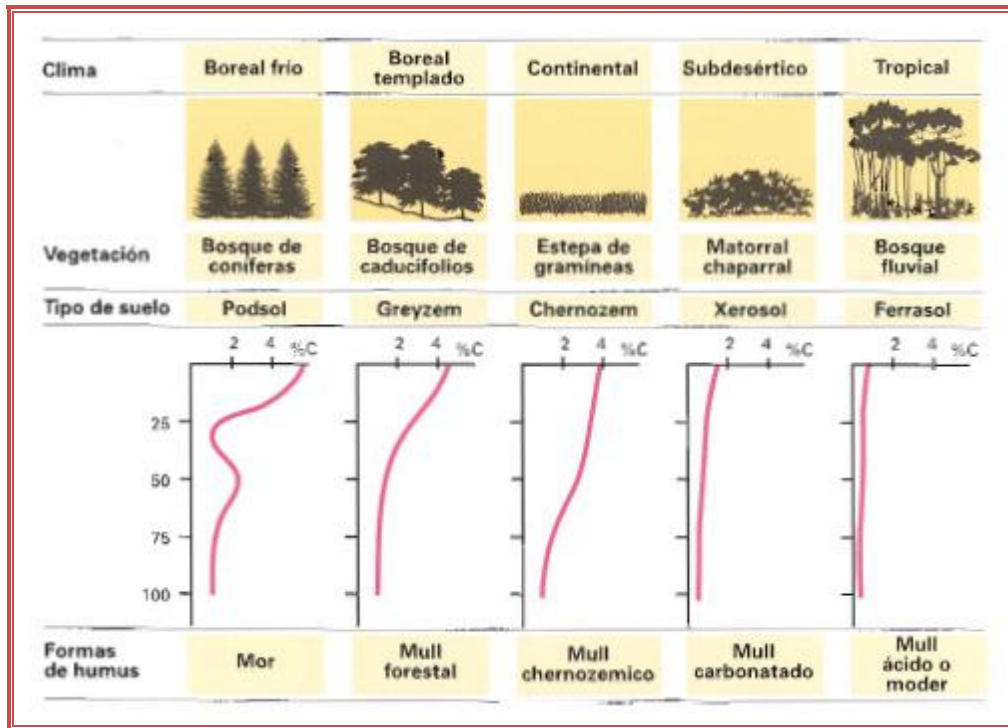


Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Figura 4. Principales ecosistemas terrestres y carbono edáfico

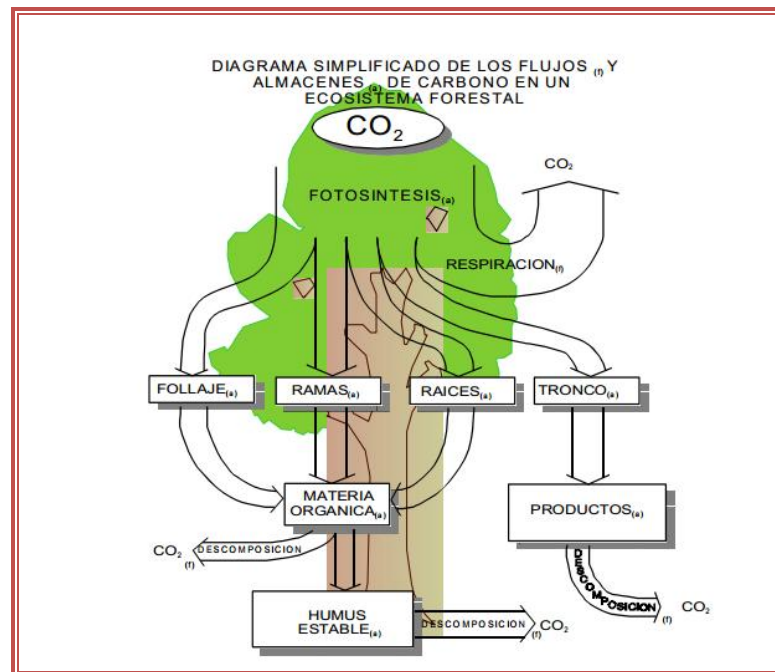


Fuente: Gallardo y Merino 2007

La cantidad de carbono que puede ser capturada por medio de la rehabilitación de tierras degradadas será, por lo tanto, importante en áreas donde es técnica y socio-económicamente una opción viable. En los suelos tropicales, la degradación de los suelos inducida por el hombre afecta del 45 al 65 por ciento de las tierras agrícolas, dependiendo del continente, (Oldeman et al., 1991). Esta situación hace que el margen de progreso para la captura de carbono en suelos tropicales degradados sea muy alto. Los beneficios adicionales relacionados incluirán el mejoramiento de las propiedades químicas, la biodisponibilidad de elementos –mayor fertilidad- y la resiliencia contra la degradación física, especialmente de la erosión. Por lo tanto, el secuestro de carbono contribuirá a restaurar la calidad de los suelos degradados. Oliva-García (1998) y Ordoñez (1999), describen que, esto es resultado, del complejo ciclo biogeoquímico del carbono en los ecosistemas forestales, en efecto los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el

humus estable son almacenes de carbono, mismos que se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal.

Figura 5. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.



Fuente: Ordóñez, 1999

Mientras que un aumento del contenido atmosférico de gases de invernadero está llevando a un cambio climático, también ocurrirán numerosos efectos complejos, contrastantes y opuestos (Brinkman y Sombroek, 1996).

Todos los resultados experimentales demuestran que un aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera induce un incremento de la biomasa o de la Red Primaria de Producción por medio de la fertilización con carbono, con un papel muy importante sobre la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. La ganancia en la fijación de CO_2 podría ser importante. El incremento en la productividad medido a causa de la duplicación de la concentración del CO_2 -predicha para el año 2100- es de cerca del 30 por ciento para las



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

plantas. Otro efecto importante del aumento del CO_2 es la disminución de la transpiración de las plantas a través de los estomas lo cual redonda en una mayor eficiencia en el uso del agua (WUE), sobre todo en las plantas C4. En lo que se refiere al agua, hay un efecto neto favorable del CO_2 sobre la reducción de la transpiración de las plantas (Gregory et al., 1998).

Evidentemente, para llegar a un aumento de rendimiento en el campo, también deben ser satisfechos otros requerimientos de las plantas como el agua y los nutrientes disponibles. En lo que se refiere al ciclo del carbono, habrá una mayor captura de carbono por la biomasa aérea y un correlativo ingreso de carbono en el suelo a partir de los residuos de las plantas y del crecimiento y la muerte de las raíces más finas. Los compuestos de las raíces tienen una mayor relación C/N y son más estables (FAO, 2001).

Otro factor que juega un papel importante en la captura de carbono es la temperatura, la que podría aumentar en algunas partes del globo terráqueo. Tal incremento podría provocar una mayor tasa de mineralización de la materia orgánica por los microorganismos y una mayor tasa de respiración de las raíces. Este efecto de la temperatura sobre la mineralización podría ser significativo en los países fríos, donde la temperatura es un factor limitante y donde puede ser esperado un incremento de las emisiones de CO_2 . Sin embargo, en la mayor parte del mundo es de esperar un aumento de la captura de carbono (Van Ginkel et al., 1999).

Para estimar el efecto del cambio climático sobre la captura de carbono pueden ser usados modelos. Los resultados de muchos estudios recientes confirman el incremento de la tasa de crecimiento de los bosques en las zonas templadas y en los países nórdicos. En lo que se refiere a los bosques tropicales, existen algunas medidas hechas en la Amazonía donde se ha encontrado un aumento de la biomasa de 0,62 t C/ha/año, lo cual para un área de 7 000 millones de hectáreas significa una captura de carbono de Gt 0,44 C/año (Phillips et al., 1998).

La transformación de terrenos boscosos en áreas de cultivo o la sustitución de cobertura vegetal por asfalto o concreto han alterado la forma sustancial la manera en que la tierra refleja la luz solar e irradia calor. Estos cambios afectan los patrones regionales de



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

evaporación, lluvias e infiltración del agua al subsuelo, afectando la distribución de la energía en el planeta.

En el mundo se incrementa también la preocupación por los efectos ecológicos negativos que se destacan en las tecnologías actuales del uso del suelo, especialmente las que requieren grandes cantidades de insumos no renovables y que inciden sobre la cobertura vegetal natural. Mientras la humanidad consume menos de 1% de la productividad primaria terrestre, ocupa o destruye casi 40% del área total disponible para producir sus bienes consumibles (Vitousek et al., 1986). Problemas como la erosión del suelo y la degradación de la fertilidad del mismo a nivel de parcela, la pérdida de flora y fauna, los cambios en los sistemas hidrológicos a nivel regional; y las pérdidas en biodiversidad y las emisiones de carbono a nivel global, son algunos de los efectos directos detectables (De Jong y Montoya, 1994). Las fuerzas que están detrás de los procesos de la deforestación son numerosas: incentivos gubernamentales para el desarrollo agrícola, crecimiento de la población, cambios hacia sistemas productivos comerciales, desarrollo de infraestructura, sistemas inseguros de tenencias de tierra y de los recursos forestales, es decir, indefinición de los derechos de propiedad, entre otros (De Jong y Montoya, 1994).

El Protocolo de Kyoto reconoce que las emisiones netas de carbono pueden ser reducidas ya sea disminuyendo la tasa a la cual se emiten a la atmósfera los gases de invernadero o incrementando la tasa por la cual esos gases son retirados de la atmósfera gracias a los sumideros. Los suelos agrícolas están entre los mayores depósitos de carbono del planeta y tienen potencial para expandir el secuestro de carbono y de esta manera mitigar la creciente concentración atmosférica de CO_2 . Dentro del contexto del Protocolo de Kyoto y las subsiguientes discusiones de la Conferencia de las Partes (COP), hay un cierto número de características que hacen que el secuestro de carbono en las tierras agrícolas y forestales pueda ofrecer posibilidades de estrategias atractivas de modo de mitigar el incremento en la atmósfera de las concentraciones de gases de invernadero.

El Artículo 3.4 del protocolo de Kyoto parece permitir la expansión de los sumideros creados por la intervención humana. Los recientes acuerdos post-Kyoto consideran los



sumideros en los países y reconocen el potencial fundamental de la agricultura, de las tierras de pastoreo y de los suelos forestales para capturar carbono y la necesidad de conceder créditos nacionales para favorecer la formación de sumideros de carbono en los suelos agrícolas.

Selva Baja Caducifolia

1.10. Características de la Selva Baja Caducifolia

Las selvas bajas caducifolias son asociaciones vegetales de zonas cálido-húmedas (Aw), que se caracterizan por presentar una temperatura promedio anual superior a los 20°C (Rzedowski, 1978), una precipitación anual de 1200 mm como máximo y se distribuyen entre los 0 y 1700 m.s.n.m. Estos ecosistemas experimentan una estación seca que puede durar de 7 a 8 meses, lo cual provoca un déficit hídrico y de los nutrientes minerales disponibles para la vegetación, dando como resultado un ecosistema altamente complejo y diverso (Bullock et al.1995). La temporalidad de las precipitaciones es uno de los factores dominantes en los patrones temporales de la actividad biológica tales como el crecimiento y la reproducción, los cuales se sincronizan con la disponibilidad de agua (Murphy y Lugo 1986).

La característica más sobresaliente de esta asociación vegetal es su carácter caducifolio ya que la mayoría de las especies pierden sus hojas durante un periodo de 5 a 7 meses, lo cual origina un contraste fisionómico muy marcado entre la temporada de secas y la de lluvias (Pennington y Sarukhán 1998). La altura promedio de los árboles varía generalmente entre los 5 y 15 m (Rzedowski, 1978). Las formas de vida suculentas son frecuentes, se encuentran los géneros *Agave*, *Opuntia*, *Lemaireocereus*, *Pachycereus* y *Cephalocereus*, entre otros géneros. Los bejucos son también abundantes y las epífitas se reducen a pequeñas bromelias y a algunas orquídeas (Lott, 1993). En general, la composición de especies de este tipo de selvas es altamente diversa y se presentan muchas variantes debido a diferencias en aspectos del suelo como tipo, profundidad, exposición, entre otros (Lott et al. 1987).



1.11. Selva baja caducifolia en México

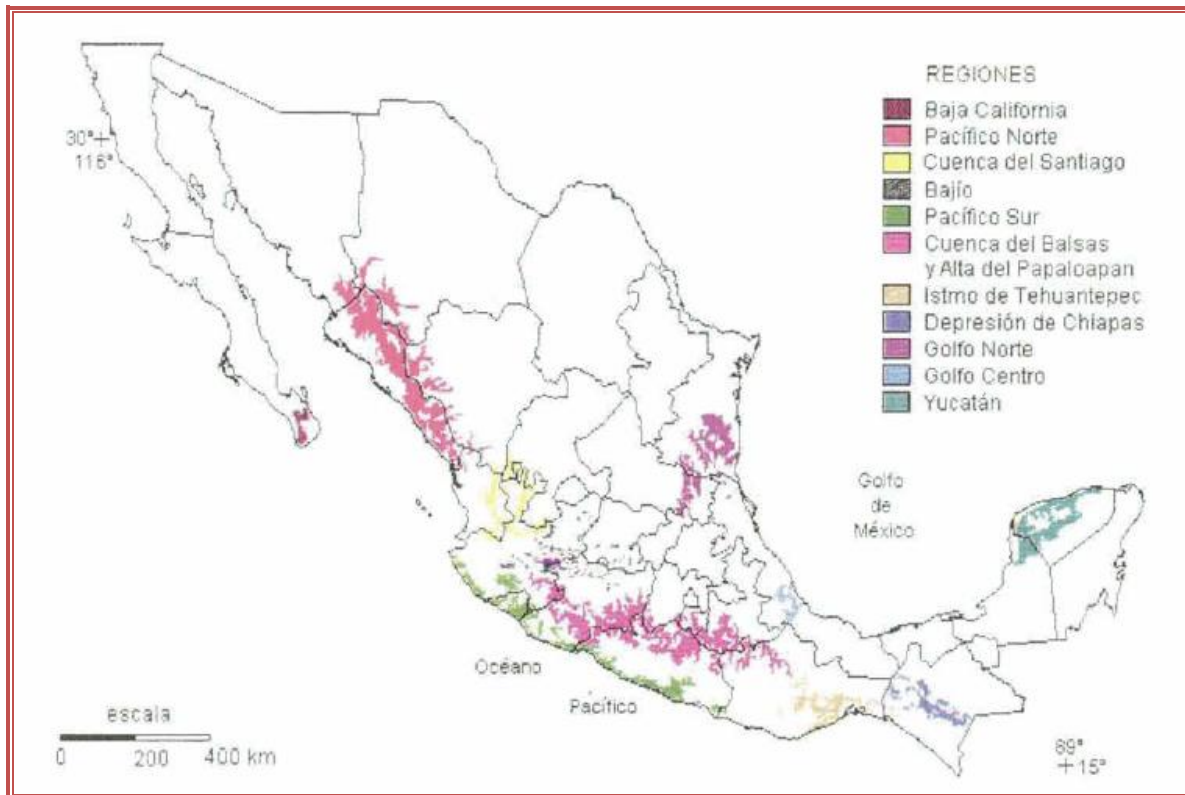
México posee diferentes ecosistemas naturales, que albergan una gran riqueza de especies vegetales, (Rzedowski, 1986). Su riqueza se debe a su localización geográfica entre la zona templada del norte y la zona tropical en el sur existen representados todos los tipos de vegetación desde los bosques de coníferas en las grandes montañas, hasta los extensos desiertos, y sin olvidar las exuberantes selvas y otros tipos de vegetación.

La SBC tiene una amplia distribución en el territorio mexicano, ya que se encuentra desde el estado de Sonora (29° latitud norte), en algunas extensiones de la zona de San Javier (Martínez y Sarukhán 1990), hasta Chiapas, en la frontera con Guatemala, en una franja casi continua en la vertiente pacífica, con algunas interrupciones en las porciones más húmedas de Nayarit y Oaxaca y con entrantes muy importantes en las cuencas de los ríos Santiago y Balsas.

También se la encuentra en las áreas menos secas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en la región del Bajío en la Altiplanicie Mexicana y en el área de los Cabos, en la porción sur de la península de Baja California. En la vertiente del Golfo de México, se distribuye desde Tamaulipas hasta la península de Yucatán, en áreas más aisladas y discontinuas.

Se distingue por asentarse sobre laderas de cerros con pendientes que van de moderadas a fuertes, con características geológicas y edáficas muy variables, lo cual contribuye a su gran diversidad florístico-fisonómica y a la gran variación de condiciones ambientales en las que se desarrolla esta selva.

Figura 6. Distribución de la selva baja caducifolia en México y su ubicación en las diferentes regiones climático-biogeográficas.



Fuente: Trejo 1999

1.12. Selva baja caducifolia en el Estado de México

La selva baja caducifolia se desarrolla ampliamente en tres regiones del Estado de México: Región IV de Tejupilco. En la Región VI de Coatepec de Harinas y en la Región VII de Valle de Bravo.

El municipio de Zacazonapan, zona de estudio del presente trabajo pertenece a la región VII, de acuerdo al Inventario Nacional Forestal.



1.13. Especies representativas de la selva baja caducifolia

El uso forestal de la selva baja caducifolia es selectivo de acuerdo al tamaño y a la especie, en el estrato superior a 8m predominan las siguientes especies: *Guazuma ulmifolia* (guácima), *Haematoxylon brasiletto* (palo de Brasil), *Bursera excelsa* (copla), *Pseudosmodium perniciosum* (copalijote), *Lysiloma acapulcenses* (tepehuaje), *Pithecellobium dulce* (guamúchil), *Crescentia alata* (cirían) *Amphi-pterigium adstringens* (cuachalalate), *Ipomoea wolcottiana*(cazahuate), *Acacia cymbispina* (huizache), *Acacia pennatula* (tepame), *Ceiba pentandra* (pochote), *Byrsonima crassifolia*(nanche), *Bursera simaruba* (palo mulato), *Cordia* spp. (cueramu), *Dodonaea viscosa* (jarrilla), *Eysenhardtia polystachya* (bara dulce), *Luecaena* spp. (Huaje), *Acacia farnesiana* (huizache), *Bocconia* spp. (Llora sangre), *Tecoma stans* (retama), *Randia* spp. (cruceto), y *Mimosa* spp. (Uña de gato). En el estrato de uno a tres metros se encuentra: *Acacia cymbispina* (huizache), *Acacia pennatula* (Tepame), *Dodonaea viscosa* (jarrilla), *Haematoxylon brasiletto* (palo Brasil), *Ipomoea wolcottiana*(cazahuate), *Bursera fagaroides* (copal), *Ipomoea murocoides* (Cazahuate), *Crescentia aalata*(cirían), *Randiasp.* (cruceto), *Lippia* sp. , *Eupatorium* sp., *Senecio* sp. , *Opuntia* sp. (nopal), y *Agave* sp. (maguey),. En el estrato inferior menor a un metro (navajita), *Andropogon* sp. (Zacate), *Karwinskia humboldtiana*(tullidora), *Croton* spp., *Dalea* spp. (engordacabras). Además de una gran cantidad de herbáceas y trepadoras. Síntesis de información geográfica INEGI (2001).



CAPITULO 2



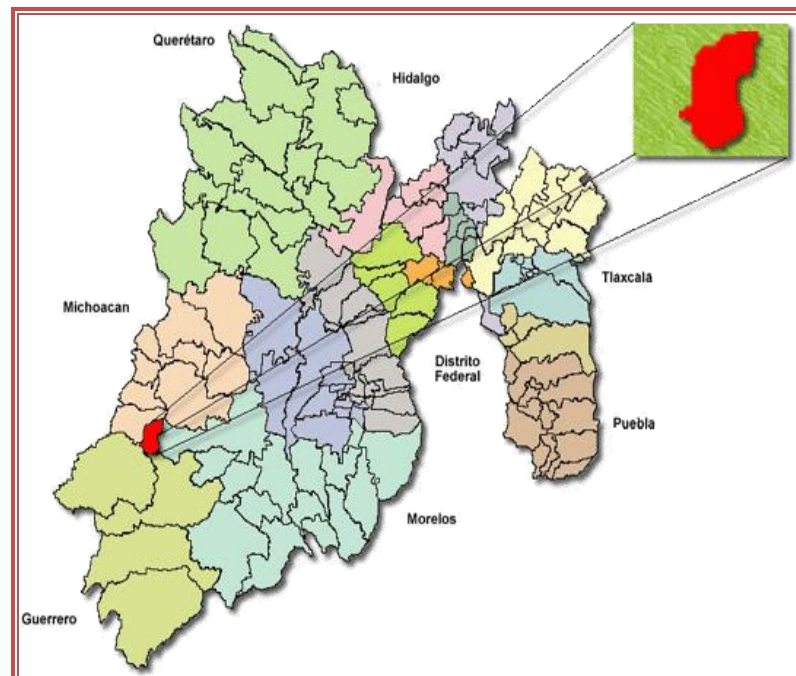
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



2.1 Localización

El municipio de Zacazonapan se ubica en la zona sur de la entidad, las coordenadas geográficas son entre los paralelos 19° 00' 17" y 19° 16' 17" de latitud norte y del meridiano 100° 12' 55" al meridiano 100° 18' 13" de longitud oeste. Se ubica a una altura media de 1,470 metros sobre el nivel del mar (PDUM 2009-2012).

Figura 7. Croquis de Ubicación



Fuente; Secretaria del Medio Ambiente 2013

Limita al norte con el municipio de Otzoloapan, al sur con la municipalidad de Tejupilco y Luvianos? al este con los municipios de Temascaltepec y Valle de Bravo y al oeste con Otzoloapan (Mapa 1) (PDUM 2009-2012).



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Mapa 1:





2.2. Hidrología

Zacazonapan forma parte de la subcuenca del Río Cutzamala, siendo el río Temascaltepec el recurso hidrológico más importante, el cual presenta su trayecto al sur del municipio; adicionalmente se cuenta con los arroyos Zacazonapan, El Ahogado, La Antigua, Salto Prieto, La Papaya, El Temascal y el San José mismo que llega al este del límite municipal (PDUM 2009-2012).

Existen cuatro fuentes de abastecimiento de agua potable que sirven al municipio:

- El Pinal es un manantial del cual abastece a los tanques La Parota y La Colonia, que sirven a la Cabecera municipal; además de suministrar al tanque Otzoloapan; tiene una capacidad de 1.66 litros por segundo.- Los Aguacates es un manantial que dota de agua a los tanques La Estancia y parcialmente a La Colonia; su capacidad es reducida, puesto que solo se adquiere de él 0.46 litros por segundo (PDUM 2009-2012).

- El Manguito es la unión de varios escurrideros, encontrándose al aire libre, sirve a los tanques La Alcantarilla, Los Huajes y Santa María; su capacidad es de 10.70 litros por segundo (PDUM 2009-2012).

- La Huerta es un manantial que suministra a los tanques La Huerta y El Puerto; su capacidad es de 6.70 litros por segundo (PDUM 2009-2012).

Se cuenta principalmente con 4 veneros en el territorio municipal los cuales son: San Andrés, el Naranjo, el Potrero y el Riyito. Además cuenta con un canal conocido como El Manguito, situado en la parte baja de la presa el Pinal del Marquesado, cuyo caudal llega a un depósito que se localiza al oriente de la localidad de Zacazonapan, mismo que abastece a una parte de la propia Cabecera y a las comunidades de Santa María, La Cañada y Tizapa, destinado a consumo doméstico y agropecuario (PDUM 2009-2012).



2.3 Clima

El clima predominante es el cálido subhúmedo, con humedad moderada. La temperatura media anual es de 23° C, la máxima anual de 31°C y la mínima anual de 15°C. La precipitación es de 1,800 milímetros anuales, presentándose vientos en mayo y esporádicamente en agosto y septiembre (PDUM 2009-2012).

Los vientos dominantes provienen del sur, con dirección al noroeste lo que favorece el desplazamiento de los contaminantes generados en la Cabecera municipal y la Minera Tizapa; por lo que no existen afectaciones en las zonas habitacionales del municipio por contaminantes, generados en otras actividades (PDUM 2009-2012).

2.4 Geología

Los tipos de roca existentes en el municipio son:

Rocas ígneas.- Se forman por la consolidación de un magma fluido sobre la superficie terrestre o a una cierta profundidad:

A) Extrusiva ácida.- Se solidificaron a partir de un magma sobre la superficie terrestre, tomando el nombre de lavas y rocas pirocláticas, formadas por la consolidación de fragmentos arrojados por los volcanes en erupciones explosivas. La mayoría son de cristalización fina, las ácidas son las que contienen más del 66% de sílice en peso, colores comunes. Entre los principales componentes de estas rocas se encuentran el cuarzo, el feldespato, potásico, las plagioclasas sódicas, micas como biotita, muscovita, y algunos piroxenos. Tiene una superficie de 508.81 has, y se localizan en el noroeste del municipio, ocupando su mayor parte la superficie boscosa, ya que son rocas que se localizan en pendientes pronunciadas. Por otra parte, según sus características estructurales la aptitud para el desarrollo urbano va de moderado a bajo (PDUM 2009-2012).



B) Basalto.- Es una roca ígnea extrusiva básica, con bajo contenido de sílice de textura afanítica y estructura vesicular; sus principales componentes son las plagioclasas, piroxeno y minerales, además de que predomina el color oscuro; presenta restricciones al desarrollo urbano ya que las posibilidades para el desarrollo urbano van de moderadas a bajas, teniendo una resistencia a la compresión de 20,000 a 35,000 toneladas sobre m^2 ; el uso económico de este tipo de roca es la fabricación de cimientos, acabados y revestimientos. Presenta capas masivas y permeabilidad media, este tipo de rocas se concentra en una franja que va de oeste a este al sur de la Cabecera municipal, además de porciones en las localidades de El Potrero, El Puerto, La Alcantarilla, parte del Arrastradero y Tizapa, incluyendo el Cerro del Sombrero. La superficie que ocupa este tipo de roca es de 2,357.72 hectáreas (PDUM 2009-2012).

C) Extrusiva intermedia.- Se solidificaron a partir de magma sobre la superficie terrestre, tomando el nombre de lavas y rocas piroclásticas formadas por la consolidación de fragmentos arrojados por los volcanes en erupciones explosivas. La mayoría son de cristalización fina; su contenido de sílice varía entre 52% y 66% en peso, esencialmente se forman rocas como el feldespato potásico y las plagioclasas sódicas; los ferromagnesianos como la biotita, la hornablenda y los piroxenos se encuentran como minerales accesorios, por lo que sus posibilidades al desarrollo urbano son moderadas. Su superficie es de 879.44 hectáreas, localizadas en las zonas noroeste y al noreste del municipio (PDUM 2009-2012).

D) Andesita.- Es una roca ígnea extrusiva de textura afanítica a porfídica, compuesta principalmente por plagioclasas sódicas, biota y hornablenda de grano fino, de colores grises a rosas en lo que destacan las manchas blancas de las plagioclasas y accesorios. Este tipo de roca se localiza básicamente en la localidad de Santa María sobre una superficie de 84.47 hectáreas, con altas posibilidades para el desarrollo urbano (PDUM 2009-2012).



E) Brecha volcánica.- Es una roca constituida por fragmentos angulosos y de tamaño mayor a 32 mm.; proveniente de erupciones violentas que pueden estar consolidadas entre sí por material que procede de la erupción volcánica y que puede ser lapilli, ceniza o material vítreo; este tipo de roca tiene una baja aptitud para el desarrollo urbano y se localiza en el Cerro Pelón, ocupando una superficie de 99.30 hectáreas (PDUM 2009-2012).

Rocas metamórficas.-Son el resultado de rocas que han sufrido cambios en el interior de la corteza terrestre a consecuencia de fuertes presiones, altas temperaturas o procesos químicos:

A) Esquisto.- Es una roca muy foliada y alineada, en la que el bandeamiento de los minerales que la componen es una de sus características, por lo que se divide en láminas delgadas y desiguales. Se localiza al sur del municipio, abarcando las localidades del Puente, El Naranjo, La Cañada, parte de El Arrastradero y La Alcantarilla. Tiene una superficie de 2,708.00 hectáreas, además sus posibilidades al desarrollo urbano son bajas (PDUM 2009-2012).

Aluvial.- Este tipo de suelo es el resultado del acarreo y depósito de materiales dendrítico o clástico de la erosión de las rocas, cuyas partículas y fragmentos han sido transportados por los ríos; los sedimentos que constituyen estos suelos van de gravas a arcillas y la angulosidad o redondeamiento depende de su transporte. Generalmente son zonas planas de valles o llanuras. La única superficie se localiza en la Cabecera municipal y abarca 75.86 hectáreas, caracterizándose por tener una aptitud baja hacia el desarrollo urbano (PDUM 2009-2012).

2.5 Edafología



Los tipos de suelo que predominan en el municipio son:

A) Cambisol.- Se caracteriza por contar con una capa que se encuentra formando terrones con poca acumulación de arcilla, mostrando pobreza en materia orgánica; presenta restricción para el uso agrícola y se considera apto para uso urbano, pues el suelo es muy variado y su uso está en función de su necesidad (PDUM 2009-2012).

Las subunidades existentes son cambisol eútrico y cambisol districo, siendo sus características:

La primer subunidad presenta una fase física lítica (roca a menos de 50 cm, de profundidad) y en su mayoría presenta una clase textural media en los 30cm superficiales del suelo, se localiza en la parte noroeste, sur y sureste del municipio, además de las localidades del Naranja, la Cañada, el Arrastradero, Santa María y al norte del Potrero, su extensión territorial es de 2,142.53hectáreas (PDUM 2009-2012).

La segunda subunidad exhibe una fase física lítica con una clase textural media en los 30 cm, superficiales del suelo, se localiza en la parte norte del municipio, en su mayor parte por la zona boscosa y la localidad de Santa María, cuenta con una superficie de 1,070.65 hectáreas (PDUM 2009-2012).

B) Vertisol.-Este tipo de suelo es localizado en la parte centro y sur del municipio; el suelo vertisol en general es salino, lo que representa una limitante para los cultivos sensibles a las sales. Presenta dificultades para su manejo, ya que su dureza dificulta el trabajo de su labranza y con frecuencia existen problemas de inundación por sus características expansivas con el agua, ya que su drenaje interno es lento (PDUM 2009-2012).

Estos suelos por lo general son muy fértiles con alto contenido de arcilla por lo que son considerados altamente productivos para el desarrollo agrícola, en lo que



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

respecta al uso urbano se observan restricciones, ya que cuando se encuentra húmedo sus partículas se expanden, y cuando se seca disminuye su volumen y da lugar a generación agrietamientos, por lo que presenta altos costos de urbanización (PDUM 2009-2012).

Las subunidades existentes para este tipo de suelo son:

Vertisol Pélico que cuenta con una superficie de 1,576.38 hectáreas, presenta una fase lítica y pedregosa en la parte sur del Cerro Pelón y alrededor del Cerro del Sombrero, así como en la localidad de Tizapa y parte de la Alcantarilla. Es un suelo con una baja intensidad en el color, tiene en su mayor parte una clase textura fina en los 30 cm, superficiales. Es un suelo muy fértil cuando hay presencia de agua, pero cuando este suelo se seca tiende a formar pequeños bloques agrietados e individuales (PDUM 2009-2012).

Vertisol Crómico que presenta una fase física pedregosa, comprende una menor proporción que el pélico ya que observa una superficie de 503.08 hectáreas y se encuentra en las localidades de El Puente y El Puerto, además de la parte suroeste del Cerro Pelón (PDUM 2009-2012).

Acrisol Ortico.- Es el tipo de suelo con menor proporción, ya que cuenta solo con 46.90 hectáreas, sus características consisten en encontrarse en zonas altas y con una fase física pedregosa, situándose en la superficie del Cerro Pelón y al este del (tiene como referencia el localizarse al norte del suelo vertisol pélico y al sur del cambisol eútrico, en conclusión se considera como no apto al desarrollo urbano por su situación geográfica (PDUM 2009-2012).
Luvisol Crómico.- Es de clase textura fina en los 30 cm, superficiales de suelo, presenta una fase física lítica localizada en la parte norte del municipio al sur de la zona boscosa, con una superficie de 435.36 hectáreas (PDUM 2009-2012).



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

La edafología observada en el Municipio de Zacazonapan presenta serias restricciones al desarrollo urbano, debido a que en sus características presenta un drenaje interno lento, dureza, expansión y compresión continua y altos costos de urbanización (PDUM 2009-2012).

2.6 Vegetación

Con base en la clasificación florística establecida por Rzedowski J. (1978), la región donde se localiza Zacazonapan, se inserta en la llamada Provincia Florística de la Depresión del Balsas y su tipo de vegetación natural es la llamada Selva Baja Caducifolia.

2.7 Aprovechamiento actual del suelo

De acuerdo al Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos del municipio de Zacazonapan, México 2009 el uso de suelo dentro del territorio es el siguiente:

Cuadro 2. Aprovechamiento actual del suelo

Uso	Porcentaje
Agricultura	13.86%
Zona urbana	1.98%
Bosque	48.54%
Pastizal	23.71%
Selva	11.91%

Fuente: INEGI 2009

2.8 Actividades Económicas

Agricultura



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Los principales productos cultivados son cereales como: maíz, frijol y praderas mientras que las especies pecuarias que se crían son: bovinos, porcinos, caprinos, ovinos, equinos y aves de corral (INEGI 2009).

Ganadería

Considerada como la principal fuente de ingresos, a la ganadería de tipo pecuario se destina el 60% de la superficie total del municipio. Por el número de cabezas, son los bovinos y los porcinos los que más se producen, le siguen los equinos, los caprinos y los ovinos. La cría y pastoreo de ganado se realiza principalmente basándose en hierbas y pastos naturales (INEGI 2009).

Minería

Esta actividad ha sido de mucha relevancia en los últimos años, ya que es una fuente de empleos para toda la región. Las actividades realizadas por Minera Tizapa, S.A. de C.V., permiten obtener concentrados de zinc, plomo y cobre, los cuales al procesarse en la siderúrgica permiten separarlos de otros metales como el oro y la plata. Con la minería se generan 330 empleos directos y 900 indirectos, con una derrama económica de \$32,000.000 anuales (INEGI 2009).

Turismo

En el municipio es casi inexistente la ubicación de centros o instalaciones turísticas que permitan generar empleos y brindar un servicio de esparcimiento a la población, se limita al ofrecimiento de dos posadas familiares en la cabecera municipal; no obstante, existen condiciones climáticas y ambientales que podrían favorecer el desarrollo de esta actividad.

Comercio



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

El comercio es una actividad de mínima relevancia, orientada al abastecimiento de la población del propio municipio, se concentra fundamentalmente en dos ramas: comercio de productos alimenticios, bebidas y tabaco al por menor en establecimientos especializados y comercios de productos no alimenticios al por menor en establecimientos especializados (INEGI 2009).



CAPITULO 3



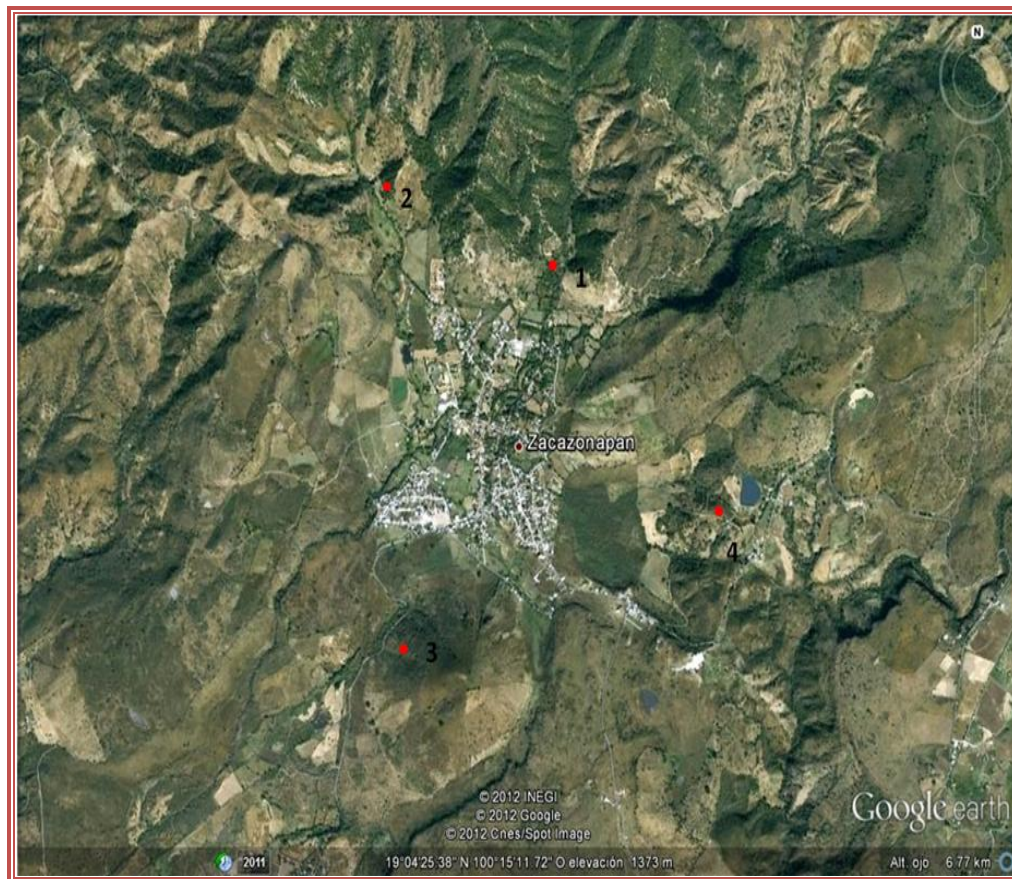
MATERIALES Y MÉTODOS



3.1 Localización de los puntos de muestreo

A continuación se presentan los puntos de cada uno de los perfiles analizados, los cuales fueron seleccionados por sus características de cobertura vegetal y accesibilidad.

Aerofoto 2. Localización de los Puntos de muestreo



Fuente: Google Earth 2011.

En el cuadro 3 se presentan las coordenadas UTM para cada uno de los perfiles, así como la altitud.



Cuadro 3. Coordenadas UTM por perfil y altitud.

Perfil	Este	Norte	Altitud (msnm)
1	368821	2110223	1416
2	36733	2110410	1413
3	36789	2107883	1372
4	14369469	2108852	1445

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Método de muestreo

El estudio se desarrollo en el municipio de Zacazonapan Estado de México, primeramente se realizó un análisis cartográfico a partir de imágenes de Google Earth (2010), donde se seleccionaron diez posibles zonas, las cuales fueron elegidas principalmente debido a su alta conservación de cobertura vegetal, una vez ubicadas estas zonas en cuanto a su longitud y latitud se procedió a realizar la verificación en campo, donde se pudo constatar en cada uno de los puntos la accesibilidad y la disponibilidad de los sitios.

Valorando la situación en la que se encuentra el municipio en cuanto a seguridad, lo cual fue una de las limitantes en la realización de este trabajo, se decidió solo establecer cuatro rodales para el muestreo.

En cada uno de los sitios se procedió a realizar la descripción morfológica de acuerdo a la metodología propuesta por Porta et al (2003):



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

“El estudio morfológico de un suelo exige la apertura de una calicata, que es una excavación”. Para facilitar el trabajo, uno de sus frentes tiene de 70 a 100 cm de ancho, y su profundidad debe ser tal que permita llegar a comprender la organización del suelo como un todo, su génesis y respuesta frente a diversos usos. Una calicata tiene tres paredes verticales para poder observar bien el perfil y los horizontes y la otra inclinación o con escalones para facilitar la entrada. La excavación se realiza de forma que la calicata quede orientada para recibir luz solar sin sombras en algún momento del día y el frente sea lo más vertical posible, evitando colocar tierra encima de este frente, o alterar la vegetación natural o el cultivo para que se puedan tomar fotografías de calidad.

Se procede a limpiar cuidadosamente el perfil con un cuchillo de monte o un instrumento análogo y, si se cree necesario, se profundiza horizontalmente. Se localiza los límites entre horizontes que se señalaran con el cuchillo y se anotó la profundidad de cada uno.”

Posteriormente se procedió al análisis morfológico de acuerdo a lo propuesto por Cuanalo de la Cerda (1975) en el manual para la descripción de perfiles de suelo en campo (Anexo 2).

Los horizontes se ponen, normalmente de manifiesto en el campo, en el perfil del suelo, pero los datos de laboratorio sirven para confirmar y caracterizar a estos horizontes. Después de la descripción se procedió a la realización del muestreo, es importante destacar que como se muestreó todo el perfil, las muestras se tomaron empezando por la base, depositando cada una en bolsas de plástico, las cuales fueron etiquetadas, selladas y enviadas al laboratorio para su análisis.

Para el caso del perfil número 4 una vez realizada la calicata y el análisis visual se procedió a aplicar una metodología distinta al resto de los perfiles la cual se retomó del Manual y Procedimientos para el Muestreo de Campo, (SEMARNAT

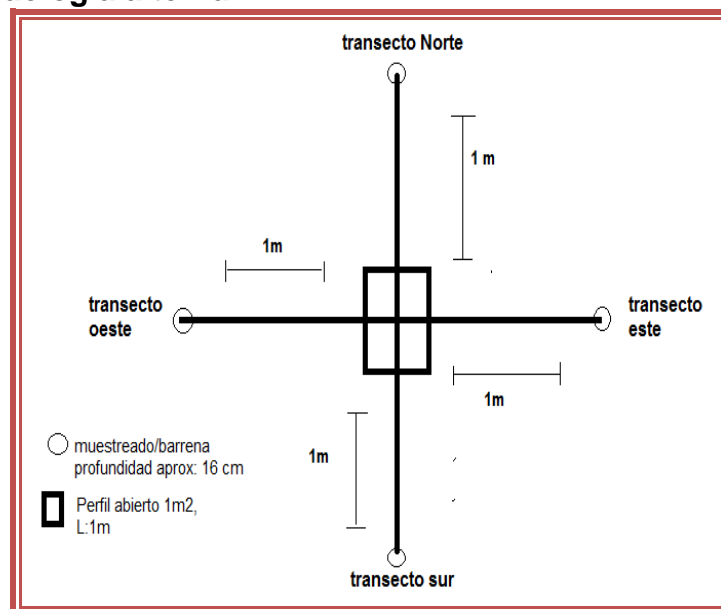


2010), a dicha metodología se le realizaron modificaciones con la finalidad de conocer si la diferencia en cuanto al contenido de carbono.

Se ubicó el centro del perfil, se registró su ubicación con ayuda de un GPS para la unidad de muestreo, y a partir del centro se midió un metro hacia los extremos del sitio en los cuatro puntos cardinales (norte, sur, este, oeste) para cada uno, como se muestra en la Figura 7, con ayuda de una cinta métrica se mide la distancia, se coloca una estaca, una vez establecidas los cuatro puntos cardinales, se procede a quitar hierbas y hojarasca de la superficie; después se tomó la muestra de cada uno de los puntos establecidos con ayuda de una barrena manual para muestreo de suelos hasta llenar el cilindro de la misma. Se extrae, se eliminan los excesos de suelo y se coloca en una bolsa e identifica para su análisis en laboratorio.

Esta variante se realizó con la finalidad de hacer un análisis comparativo entre la metodología aplicada a los perfiles 1,2 y 3 y la aplicada al perfil 4.

Figura 8. Metodología alterna



Fuente: SEMARNAT 2010



3.2 Método de análisis en laboratorio

Los análisis se efectuaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT 2000.

LA DETERMINACIÓN DE pH EN SUELOS, (MÉTODO AS-02, MEDIDO CON POTENCIÓMETRO).

Es el criterio más ampliamente usado para saber si un suelo es ácido o alcalino. Método electrónico para la determinación de pH en muestras de suelo en una solución de 1M. El uso de KCl 1M en la determinación de pH se fundamenta en que el K promueve la floculación del suelo desplaza los H^+ de los sitios de intercambio hacia la solución del suelo. La razón de utilizar la solución de KCl en un nivel relativamente concentrado es para disminuir las variaciones derivadas de soluciones de suelo concentradas o diluidas.

MATERIA ORGÁNICA, AS- 07 MÉTODO DE WALKLEY BLACK

Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_4$) y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Después de un tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso ($FeSO_4$ 1N. pH 7).

LA DETERMINACIÓN DEL COLOR SE REALIZA A TRAVÉS DEL MÉTODO (AS-22), UTILIZANDO LA TABLA DE MUNSELL DE COLORES DE SUELO.

Las tablas Munsell para la determinación del color de los suelos minerales y orgánicos, la determinación se basa en el igualamiento del color observado en el suelo tanto en seco como en húmedo respecto al color registrado en las tarjetas



de color, ubicadas en cada una de las páginas de la Tabla Munsell, donde se manejan los parámetros de matriz (Hue), Brillo (Value) e Intensidad (Chroma).

LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE (MÉTODO AS-09-1997 SEMARNAT) La densidad aparente se caracteriza por ser una medida indispensable para expresar la cantidad de carbono contenido en el suelo en unidades de ton ha^{-1} . Se calcula a partir de la masa del suelo y el volumen total ocupado por el espacio poroso.

LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL, POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO (MÉTODO AS-04).

Método para conocer la densidad real de los suelos, esta puede ser calculada a partir de la masa y el volumen de cierta cantidad de suelo. La masa es determinada pesando directamente el suelo y el volumen de manera indirecta por el cálculo de la masa y la densidad del agua (o cualquier otro fluido) desplazado por la muestra de suelo. Las muestras se llevaron al laboratorio, para llevar a cabo los análisis físicos y químicos.

Se dejaron secar a temperatura ambiente, Los parámetros físicos y químicos de cada muestra de suelo fueron determinados de acuerdo a la Norma oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones para el estudio y análisis de los suelos. El pH fue obtenido utilizando una solución 1:5 de suelo/agua. El análisis de materia orgánica fue realizado con el método de oxidación con dicromato (NOM-021-RECENAT-2000), Densidad Real con picnómetro con el método (AS-08-1997 SEMARNAT), Densidad Aparente método AS-09-1997 SEMARNAT). Mientras que para la estimación de la captura de carbono fue necesario a partir del análisis de materia orgánica se estableció el contenido de carbono orgánico [% CO], el peso seco del suelo en ton ha^{-1} , la profundidad del suelo muestreado (cm), y la densidad aparente (g cm^{-3}), el



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

potencial de captura de carbono (Kg C m^{-2}) fue obtenido utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Mg C ha}^{-1} \text{ o kg C m}^{-2} = [\text{peso del suelo}] [\% \text{ CO}] \text{ Donde:}$$

Peso del suelo [ton ha^{-1}] = [profundidad del suelo muestreado] [densidad aparente]. El valor total de carbono de cada perfil es entonces dividido por el área de la misma para calcular densidad de carbono, es decir, toneladas de carbono por hectárea. El sistema de muestreo utilizado en general fue sistemático, en el cual se tiene por objetivo obtener información básica “para la planeación y la toma de decisiones”, así como servir de marco de referencia y apoyo a la realización de la tesis en cuestión.

Para estimar la cantidad de C almacenado en el suelo es necesario conocer la densidad aparente de éste. Por ello, en el momento de realizar el muestreo en campo se midió la longitud de cada muestra de suelo



Capítulo 4



Resultados y Discusión



A continuación se presentan en las siguientes tablas los resultados individuales para cada uno de los perfiles como primer instancia se muestran los resultados de la descripción físico química de los cuatro perfiles analizados, también se presenta una tabla que resume los principales resultados para cada uno de estos.

DESCRIPCIÓN FÍSICO- QUÍMICA DE PERFILES

Perfil No. 1

Fecha de observación 7 de Octubre 2011

Coordenadas: 368821E/2110223N

Altitud: 1416msnm

Realizó: Espinoza Zaragoza Mónica A.;
Rivera Vergara Josefina A.

Vegetación; *Lysilomaacapulcenses*
(tepehuaje), *Acacia*

cymbispina (huizache) *Ipomoeawolcottiana*
(Cazahuate), *Dodonaea viscosa* (jarrilla).



El uso actual de suelo es “**Forestal con ganadería extensiva**”, cobertura del suelo (%): arbustiva o renuevos es de 51-75%, cobertura herbácea 76-100%, Mantillo 76-100%, Suelo desnudo 0-10%, Otros (rocas) 0-10%. La profundidad del suelo es de 55 cm que indica hasta donde pueden penetrar y desarrollarse potencialmente las raíces.

Se observó degradación física por compactación y /o sobrepastoreo, el porcentaje de afección del sitio es ligero, la capa de hojarasca es de 50mm, y 30-60cm de profundidad real.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Cuadro 4. Descripción Morfológica (Perfil1)

HORIZONTE	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
0 -10cm	Areno limoso, húmedo con piedras pequeñas angulares; estructura modernamente desarrollada poliédrica angular consistencia blanda en seco, en húmedo muy friable no adhesivo, no plástico, poros numerosos gruesos y discontinuos dentro de los agregados tubulares horizontales; permeabilidad rápida; raíces comunes delgadas bien drenado, reacción al álcali positivos, pH4.
10-25cm	Areno limoso: Transición tenue irregular. presencia de piedras; húmedo; con contraste marcado motas comunes de tamaño medio, pedregoso con piedras pequeñas angulares estructura moderadamente desarrollada, de forma poliédrica angular; consistencia en seco blanda y en húmedo muy friable no adhesivo, no plástico poros numerosos gruesos, continuos dentro de los agregados, tubulares caóticos permeabilidad rápida, pocas raíces, delgadas; bien drenado; reacción al álcali positivos; pH4.
25-55cm	Limo arenoso: presencia de costras duras motas comunes; pedregoso pequeñas angulares; estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica angular; consistencia en seco dura y en húmedo firme; ligeramente adhesivo, no plástico; poros frecuentes de micro poros a finos; continuos dentro de los agregados; tubulares horizontales; permeabilidad rápida; pocas raíces de finas a delgadas; bien drenado, reacción al álcali positivos pH4.

Cuadro5. Descripción Físicoquímica (Perfil1)

ROFUNDIDAD	% C. O	% M.O	pH H ₂ O	pH KCL	D. REAL gcm ₃	D. APARENTE	COLOR
0-10cm.	0.55	0.95	5.2	4.0	2.38	1.166	7.5 YR6/8 amarillo rojizo
10-25cm	0.69	1.18	5.6	4.0	2.28	1.176	7.5YR6/6 Amarillo rojizo
25-55cm.	0.46	0.79	5.9	4.4	2.37	1.0833	7.5YR 6/6 Amarillo rojizo



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Perfil No. 2

Fecha de observación 7 de Octubre 2011

Coordenadas: 36733E/2110410N

Altitud: 1413m msnm

Realizó: Espinoza Zaragoza Mónica A.; Rivera Vergara Josefina A.

Vegetación: *Eucalyptus globosus*

Labill. (*Eucalipto*);

Lysilomaacapulcenses (Tepehuaje).

El uso actual del suelo es “**Forestal con ganadería extensiva**”, cobertura del suelo (%): cobertura arbórea 26-50%; arbustiva o renuevos 51-75%; herbácea 26-50%; mantillo 76-100%; suelo desnudo 0-10%; 10-10% otras

(rocas). La profundidad del suelo es de 30 cm que indica hasta donde pueden penetrar y desarrollarse potencialmente las raíces. Se observa degradación hídrica con pérdida de suelo, por la formación de canalillos, surcos, cárcavas poco profundas y física por compactación y /o sobrepastoreo. Porcentaje de afección del sitio ligero con 1.1 % espesor de la capa de hojarasca de 50, 30 a 60cm de profundidad real.





Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Cuadro 6. Descripción Morfológica (Perfil 2)

HORIZONTE	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
0 -10cm	Limo arenoso sin estructura de forma granular; consistencia en seco suelto en húmedo suelto; adhesivo; no plástico; ligeramente pedregoso de tamaño grava de forma angular; poros numerosos, micro poros; continuos dentro y fuera de los agregados de forma intersticial y tubular caóticos; permeabilidad moderada; raíces abundantes de finas a delgadas; presencia de <i>Himenópteros</i> ; imperfectamente drenado: reacción al álcali positivos, pH 5. Transición tenue irregular muy húmeda.
10-25cm	Limo arenoso: ligeramente pedregoso; piedras medianas angulares; estructura moderadamente desarrollada; poliédrica angulares; consistencia en seco blando; en húmedo suelto; adhesivo; no plástico; poros numerosos; finos; continuos; dentro y fuera de los agregados, de morfología intersticial, tubulares caóticos; permeabilidad moderada; raíces comunes; finas; imperfectamente drenado; reacción al álcali positivo; pH 5. Transición tenue irregular muy húmedo
25-80cm	Limo arenoso; ligeramente pedregoso, de piedras medidas de forma angular; de estructura moderadamente desarrollada; de forma poliédrica angular; consistencia en seco ligeramente duro y en húmedo friable; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; poros numerosos; de diámetro fino y continuos; continuos; dentro y fuera de los agregados; morfología intersticial y tubulares; caóticos; permeabilidad moderada; raíces raras; finas; imperfectamente drenado; reacción al álcali positivo; pH5. Transición tenue irregular; húmedo

Cuadro 7. Descripción Físicoquímica (Perfil2)

PROFUNDIDAD	% C. O	% M.O	PH H ₂ O	PH KCL	D. REAL gcm ₃	D. APARENTE	COLOR
0-10cm.	1.75	3.02	5.8	4.5	2.2	1.126	7.5YR 6/6 Amarillo rojizo
10-25cm	0.57	0.99	5.8	4.3	2.2	0.856	7.5YR 6/6 Amarillo rojizo
25-80cm.	0.66	0.10	5.5	3.9	2.3	1.2	7.5 YR6/4 Café claro



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Perfil No. 3

Fecha de observación 7 Octubre 2011

Coordenadas: 36789E/2107883N

Altitud: 1372 msnm

Realizó: Espinoza Zaragoza Monica
A.; Rivera Vergara Josefina.

Vegetación:

Lysilomaacapulcenses (Tepehuaje)

Acacia cymbispina (Huizache)

Ipomoeawolcottiana (Cazahuate).



Uso de suelo actual; “**Forestal**”, cobertura del suelo por vegetación arbórea 26-50%; arbustiva o renuevos 26- 50%; Herbácea 76-10%; mantillo 76-10%; suelo desnudo 0-10%; otros (rocas, etc.) 0-10%). La profundidad del suelo es de 50 cm que indica hasta donde pueden penetrar y desarrollarse potencialmente las raíces.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Cuadro 8. Descripción Morfológica (Perfil 3)

HORIZONTE DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

0 -5cm

Limo arcilloso: presencia de piedras; muy pedregoso; tamaño de gravas a piedras pequeñas; sub angular; estructura moderadamente desarrollada; poliédrica angular; consistencia en seco ligeramente duro y en húmedo firme; muy adhesivo; plástico; pocos poros; muy finos; continuos; dentro y fuera de los agregados; morfología vesicular e intersticial; caóticos; permeabilidad moderada; raíces comunes; finas; con túneles de lombrices; imperfectamente drenado; reacción al alófono positivo; pH 5. Transición tenue horizontal; húmedo.

5-50cm

Limo arcilloso: presencia de piedras; muy pedregoso; piedras medianas; angulares; moderadamente desarrolladas; poliédrica angulares; consistencia en seco ligeramente duro y en húmedo firme; muy adhesivo; plástico; pocos poros; de diámetro muy finos; continuos; dentro y fuera de los agregados: morfología vesicular e intersticial; caóticos; permeabilidad moderada; raíces comunes; de finas a medias; ácaros; imperfectamente drenado; reacción al alófono positivo; pH 5.

Cuadro 9. Descripción Físicoquímica (Perfil3)

PROFUNDIDAD	% C. O	% M. O	PH H ₂ O	PH KCL	D. REAL gcm ₃	D. APARENTE	COLOR
0-5cm.	3.37	5.81	6.4	5.2	2.15	2.73	7.5 YR 4/1 Gris oscuro
5-50cm	1.65	2.85	6.6	5.4	2.11	1.113	7.5 YR 4/2 Gris oscuro



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Perfil No. 4

Fecha de observación: 7 de Octubre del 2011

Coordenadas:

14369469E/2108852N

Altitud: 1445msnm

Realizó: Espinoza Zaragoza
Monica A.; Rivera Vergara Josefina
A.

Vegetación: *Acacia cymbispina*
(Huizache); *Lysilomaacapulcenses*
(Tepehuaje).



Uso actual del suelo “**Forestal con ganadería extensiva y agricultura**” se pudo apreciar la presencia de ganado bovino, se presenta cobertura del suelo por vegetación; arbórea 11-25%; arbustiva o renuevos 11-25%; herbácea 0-10%, matillo 0-10%; suelo desnudo 0-10%, otros (rocas etc.) 11-25%. %. La profundidad del suelo es de 20 cm que indica hasta donde pueden penetrar y desarrollarse potencialmente las raíces.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Cuadro 10. Descripción Morfológica (Perfil 4)

HORIZONTE	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
0- 15	Textura arenosa; pedregoso con piedras pequeñas y medianas angulares, estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica subángular, consistencia en seco suelto y húmedo muy friable, ligeramente adhesivo y ligeramente plástico, poros frecuentes de diámetro muy fino continuos localizados dentro de los agregados, morfología vesicular caóticos con permeabilidad lenta, raíces raras de tamaño delgadas, fauna colémbolos, drenaje del perfil bien drenado reacción alófanos positivos, pH 6. Transición tenue horizontal.
15-20	Limo arenoso: superficie del suelo con costras, seco ;textura arenoso; pedregoso; piedras de pequeñas a medianas sub angulares, estructura moderadamente desarrollada de forma poliédrica subangular con consistencia en suelo seco y en húmedo muy friable no adhesivo no plástico, poros frecuentes de diámetro muy finos continuos localizados dentro de los agregados ;morfología vesicular caóticos ;permeabilidad lenta ; raíces raras de tamaño delgadas , presencia de colémbolos y hormigas , bien drenado ; reacción positiva a alófanos y pH 7.

Cuadro 11. Descripción Fisicoquímica (Perfil 4)

PROFUNDIDAD	% C. O	% M.O	PH H ₂ O	PH KCL	D. REAL gcm ₃	D. APARENTE	COLOR
0-15cm.	2.78	1.59	5.7	4.4	2.10	0.8866	7.5 YR6/6 Amarillo rojizo
15-20cm	0.92	4.79	6.4	4.6	2.10	1.0833	7.5 YR6/6 Amarrillo rojizo



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Cuadro 12. Periferico al perfil 4

PROFUNDIDAD	% C. O	% M.O	pH H ₂ O	pH KCL	D. REAL gcm ₃	D. APARENTE	COLOR
Norte	1.43	2.47	4.5	6.0	2.37	1.15	7.5 YR 7/6 Amarrillo rojizo
Sur	0.75	1.29	4.3	6.4	2.30	1.20	7.5 YR 6/6 Amarrillo rojizo
Este	1.71	2.49	4.5	6.0	2.56	1.23	7.5YR 6/6 Amarillo rojizo
Oeste	1.61	2.77	4.3	5.9	2.47	1.18	7.5YR 5/4 Café



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Cuadro 13. Resumen de tonelaje por hectárea en cada uno de los perfiles

No.	Descripción del sitio	Densidad de carbono ton C/ha
Perfil 1	Uso de suelo forestal con ganadería extensiva; arbustiva o renuevos 51-75%, Sp. Herbácea 76-100%.	33.45 tonC/ ha
Perfil 2	Forestal con ganadería extensiva; arbórea 26- 50% Sp. arbustivas o renuevos 51-75%, herbácea 76-100%.	31.09 tonC/ ha
Perfil 3	Forestal arbórea 26-50%, arbustiva o renuevos 26-50%, herbácea de 76-100%	97.75 tonC/ ha
Perfil 4	Forestal con agricultura de temporal y ganadería extensiva, arbustiva y renuevos 11-25%, herbácea 11-25%.	27.29 tonC/ ha
Periférico del Perfil 4	Forestal con agricultura de temporal y ganadería. 11-25%, herbácea 11-25%.	32.74 tonC/ ha



4.2. Análisis de resultados y conclusiones

De acuerdo con Lal (2004), los almacenes de carbono en las plantas se dan principalmente a que la captura carbono de la atmósfera es a través de la fotosíntesis. El resto circula por la cadena trófica, la alimentación ganadera y humana fundamentalmente, incorporándose también al suelo a través de los residuos vegetales y animales, y siendo liberado el resto principalmente a través de la respiración (incluida la de los organismos que viven en el suelo y que descomponen los residuos orgánicos).

Para cubrir los objetivos se realizó el levantamiento de cuatro perfiles para cada una de las muestras fue necesario calcular tC por unidad de superficie 1ha.

Los cambios de uso de suelo que se presentaron fueron el de cobertura forestal a cielos abiertos para cultivo o bien ganadería extensiva, el paisaje resultante incluye parches de selva baja caducifolia en estado conservado.

Los suelos analizados muestran profundidades variables, va de los 20 cm llegando los 80cm. Por ejemplo, en el perfil 1 donde el uso es forestal con ganadería extensiva, se encontró que el primer horizonte con profundidad 0-10 cm presenta un almacén de 1.75 % de carbono para la profundidad de 10 a 25 es de 0.57% y para el último horizonte con una profundidad de 25 a 80 cm es de 0.06%. El comportamiento es similar para las muestras con uso forestal ya que en los primero cinco centímetros es de 3.37% y de 5 a 50 cm disminuye casi a la mitad siendo este de 1.65%. Para el uso de suelo agrícola el %C en el horizonte superior de 0-15 cm es de 2.78 % y para el siguiente horizonte de 15 a 20 cm fue de 0.92%. De acuerdo a los resultados obtenidos el porcentaje de carbono en los primeros horizontes es mayor y este disminuyó conforme a la profundidad. . Diekow et al. (2005) en Brasil encontraron una tendencia diferente, donde los cultivos almacenaron mayores cantidades de carbono a partir de 17,5 cm, lo que explicaron por la posible disposición de material orgánico por medio del aporte directo de las raíces o por el transporte de residuos orgánicos a través del perfil por la meso y macrofauna.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

En la gráfica 1 se puede apreciar que el perfil número 3 con un uso forestal es el que muestra mayor almacén de carbono (97.75tonC/ ha) esto se puede atribuir al uso de suelo ya que presenta un alto nivel de conservación de las especies nativas de la selva baja caducifolia, las cuales presentan un promedio general de 21 cm de diámetro y una altura de 10.97cm, mientras que para las especies arbustivas su diámetro promedio es de 20.02cm y una altura de 9.93cm (Inventarió Forestal 2010). Swift (2001), señalan que la capacidad de almacenamiento de C de un suelo depende de la vegetación que soporta, composición mineralógica, profundidad, drenaje, disponibilidad de agua y aire, además, del uso y manejo que se hace del mismo, de igual forma Woomey y Palm, (1998) indican que el carbono está en función de la concentración de este elemento en las plantas, la biomasa, los distintos sistemas de uso de suelo, la profundidad del suelo y la densidad aparente. De acuerdo a Adger *et al.* 1995 el almacenaje de carbono oscila entre 92.5 y 91.25 lo cual nos señala que el perfil número 3 con un uso forestal, se encuentra entre los niveles óptimos de captura, constituyen reservorios netos de carbono, debido al mantenimiento de los tejidos vegetales y en los suelos grandes cantidades de este elemento, si estos sistemas se perturban o se transforman por el cambio de uso del suelo, sobre todo cuando ello implica procesos de remoción de hojarasca por deforestación y posteriormente erosión por las prácticas agrícolas en terrenos con pendientes mayores a 8° en suelos poco profundos.

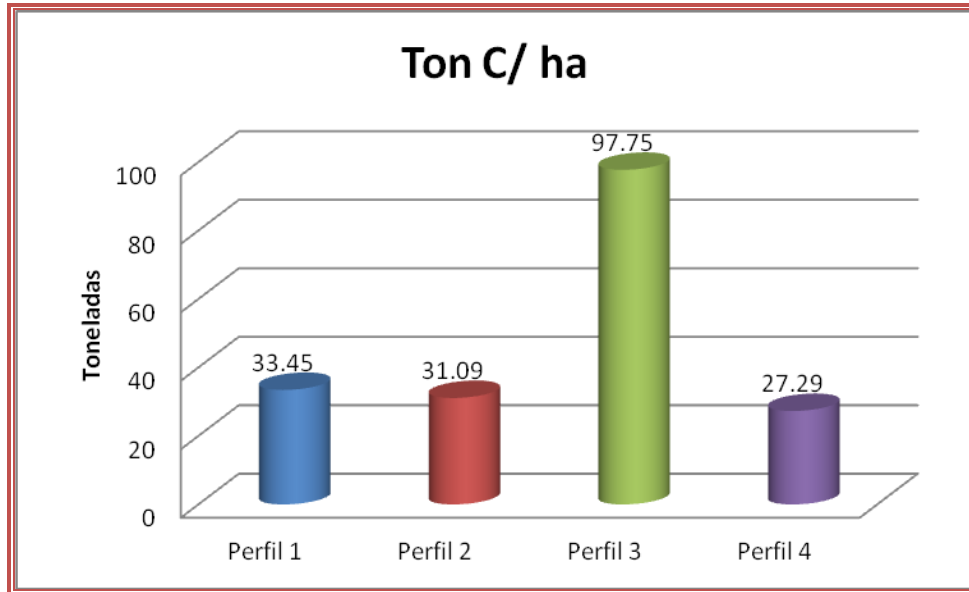


Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Gráfica 1: Contenido total de carbono /hectárea almacenado por perfil.



Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al perfil 1 el cual posee un unos de suelo que almacena 33.45 ton C/ ha y perfil 2 que almacena 31.09 tonC/ ha, muestran resultados similares se debe principalmente a que ambos tienen un uso de suelo forestal (selva baja caducifolia) con ganadería extensiva se debe posiblemente al tipo de manejo que realizan los productores, como quemas o la carga animal empleada, tal como lo reporta Carvajal et al (2009) en la que se encontró que para la totalidad del perfil, los suelos presentaron ganancias en el almacenamiento de carbono cuando las coberturas vegetales naturales (relictos de selva) se transformaron en cultivo, mientras que se notaron disminuciones considerables cuando los cultivos se convirtieron en pastizales.

El perfil 4 se puede apreciar una disminución significativa al tener 27.29 tonC/ ha en comparación con los perfiles 1 y 2 se muestra claramente una disminución promedio de 5 tonC/ ha lo cual se debe principalmente al manejo que está presentando al tener un uso forestal con agricultura de temporal y ganadería



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

extensiva; la agricultura que efectúan la labranza tradicional (LT), la cual consiste en remover el suelo e incorporar los residuos del cultivo anterior (Sierra, 1990). Así mismo Guo y Gifford (2002) reportan pérdidas de C hasta del 42% cuando se transforma la selva nativa para actividades agrícolas. De acuerdo a Riquelme, 1992, el arado corta e invierte total o parcialmente los primeros 15 cm. de suelo, permitiendo que éste se suelte, airee y mezcle, lo que facilita el ingreso del agua, la mineralización de nutrientes y la reducción de plagas y enfermedades en superficie. Con este sistema el suelo se deteriora por pérdida de elementos nutritivos, principalmente por erosión (Sierra, 1990), por compactación y por degradación de la materia orgánica, lo cual disminuye significativamente la presencia de carbono en relación con los resultados a la metodología alterna que se implemento en este perfil.

Como un análisis complementario para la verificación del método de muestreo, para la cuantificación del almacén de carbono por hectárea, se realizó un muestreo superficial de acuerdo a la metodología propuesta en el Manual y procedimientos para el muestreo de campo SEMARNAT 2010, para este fin se eligió el perfil cuatro, ya que es el uso más representativo de la zona de estudio que tiene un uso agropecuario forestal, y por la profundidad de 20 cm, donde el almacén de carbono para el perfil fue de 27.29 tonC/ ha, mientras que utilizando la metodología alterna el carbono almacenado arroja cantidades superiores 32.74 tonC/ ha(método barrena), esto se debe a que en la metodología alterna se toman cuatro puntos de muestreo, lo que resulta ser más representativo de la zona. Por otro lado la viabilidad para realizar el método del perfil, no siempre resulta ser muy positivo por las perturbaciones que se realizan a la zona así como lo laborioso que resulta este método, otro factor que es determinante es la inseguridad que se vive en la actualidad en el territorio nacional por lo que el ramo de la ciencia tiene que optar por metodologías que resulten más prácticas.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Después de realizar los análisis pertinentes, se responde la pregunta de investigación, los cambios de usos de suelo forestal a: agrícola y con ganadería extensiva, afectan de manera directa la captura de carbono en suelos de selva baja caducifolia.

Se concluye que el método alternativo que se utilizó en la investigación resulta ser práctico en la toma de muestras de suelo, facilitando y sirviendo de parteaguas en futuras investigaciones de captura de carbono ya que se obtuvieron muestras de una mayor área, teniendo así un incremento en el número, lo que beneficiaría en la representatividad, a su vez se tendrá una mejor perspectiva de la dinámica del suelo.

Los porcentajes de captura de carbono pueden variar considerablemente, el ecosistema forestal (selva baja caducifolia) contiene la mayor cantidad de carbono 97.75 tC-Ha, todos los cambios en el manejo de los ecosistemas inducen cambios importantes en la dinámica del carbono, dando lugar a menores existencias de carbono que en el bosque original. Estas formas de manejo incluyen la agricultura tradicional, la deforestación y la ganadería. Por lo tanto, mientras que las toneladas de carbono capturadas por hectárea son relativamente pequeñas en relación con la superficie de los bosques, el potencial general para una mitigación climática es importante.

Las actividades antropogénicas tienen impactos negativos en la captura de carbono, si bien en esta investigación no fue el tema central, es importante denotar la importancia de tomar medidas para que dichas actividades se realicen de una manera sustentable y replantear las políticas públicas para asegurar la continuidad de los ecosistemas en un estado óptimo de conservación, productividad y funcionalidad ecológica con el fin de asegurar la preservación de los recursos naturales que posee el municipio



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Según Feldpausch et al. (2004) esto se convierte en una consideración importante para el manejo futuro de créditos de carbono. Además, los mercados se están extendiendo globalmente y los mecanismos de desarrollo limpio del protocolo de Kyoto ofrecen una oportunidad económica atractiva para la subsistencia de agricultores de países en vía de desarrollo, quienes podrían obtener recursos económicos por medio de la venta a países industrializados del C secuestrado en sus agro-ecosistemas (Nair et al., 2009) Evidenciando que la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero a partir del almacenamiento de carbono, además de ser un servicio eco sistémico se convierte en una alternativa económica que se puede potenciar a través de las evaluaciones del carbono orgánico del suelo.

Por lo tanto se recomienda a las instituciones encargadas del diseño de políticas relacionadas con el calentamiento global y el cambio climático, asignar mayor importancia a la captura de carbono en el suelo y promover su inclusión en los mercados internacionales de carbono. Se propone la elaboración de la línea de acción de almacenamiento de carbono y nitrógeno en el suelo, permitiendo la construcción y validación de modelos, que permitan realizar predicciones a futuro y simular escenarios de lo que podría ocurrir con la captura de carbono según las características climáticas, fisiográficas usos y coberturas vegetales del terreno de un determinado territorio.



LITERATURA CITADA

Adger, W. N., K. Brown, R. Cervigni y D. Moran, 1995. Total economic value of forests in Mexico. *AMBIO* 24: 286-296.

Aguilera, S.M., 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.

Arnold, R.W., I. Szabolcs y V.O. Targulian.1990. Global soil change. International Institute for Applied Systems Analysis-International Soil Science Society-United Nations Environmental Program.Laxenburg, Austria.

Balesdent, J. 1996. Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols de France. *Etude et Gestion des sols* 3 (4): 245-260.

Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53: 215-220.

Brinkman, R., Sombroek, W.G. 1996. The effects of global change on soil conditions in relation to plant growth and food production. In F. and W.G. Sombroek eds. *Global Climate Change and Agricultural Production*. Bazzaz FAO and Wiley, Chichester, UK. p 49-63.

Bullock, S. & Solís-Magallanes, J. A. 1995. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica*. 22: 22-35.

Carvaja L, Andrés F et al ., 2009 Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. R.C. Suelo Nutr. Veg., Temuco, v. 9, n. 3.

Castillo y León. ; 2005; Aplicación de Protocolo de Kioto, Edita: Consejo Económico y Social de Castilla y León C/ Duque de la Victoria, 8. 3ª y 4ª planta. 47001 Valladolid. España

Cuanalo de la Cerda H., 1975; Manual para la descripción de perfiles de suelo en campo: colegio de posgraduados. ENACH.Chapingo ; México.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Diario oficial de la federación. (2000) Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-SEMARNAT, 2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y Clasificación de los suelos. Estudios muestreos y análisis. Tomo DLXV, -12:6-74. Órgano del Gobierno constitucional de los Estados Unidos Mexicanos.

Diekow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D.P., Ko Gel-Knabner, I. 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil and Tillage Research* 81, 87–95.

Detwiler, R. P. and C. A. Hall, 1989. "Tropical forest and the global carbon cycle". En: *Science*, 239,43-47

De Jong Ben and Montoya, G., 1994. "Sustainable management of forest resources: a proposal for the higlands of Chiapas, México". En: *The proceedings of the 6 Th symposium: Management for a global economy eith a global resource concern . Pacific Grove, CA*

Department for Transport, Local Goverment and Regions, 2002, *Economic valuation with stated preference techniques; summary guide; DTLGR; Gran Bretaña*

FAO, 2001. *Soil carbon sequestration for impoved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.*

Feller, C. 1979. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols: application aux sols tropicaux à texture grossière, très pauvres en humus. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie 17: 339-346*

Feldpausch, T.R., Rondón, M.A., Fernandes, E.C.M., Riha, S.J., Wandelli, E. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating from degraded pastures in Central Amazonia, Brazil. *Ecological Applications* 14, 164-176.



Figueruelo Juan E., Dávila Martín M. “*Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*”. Editorial Reverte , 2004 . Barcelona, España.p.p 356-370.

Follet, R.F. 2001.Soil management concepts and carbonsequestration in cropland soils. Soil Tillage Res. 61: 77-92.

FORO DE BOSQUES Y CAMBIO CLIMÁTICO (2004): “Contribución de los bosques al cumplimiento de los compromisos españoles en materia de cambio climático”. Comunicación Técnica presentada en el *VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*, noviembre de 2004, Madrid. Página web <www.asemfo.org>

Fortin, M.-C., ROCHETTE, P., PATTEY, E., 1996. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage smallgrain cropping systems. SoilSci. Soc. Am. J. 60, 1541-1547.

Gallardo J. F. y A. Merino. 2007. El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales. En: Bravo, F. (Coord.). El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural, Barcelona. 43-64 pp.

Glyn Henry J, Heinke W. Gary 1999. “Ingeniería Ambiental”. Prentice Hall, México,314.

Gregory, P.J., Simmonds, L.P., Warren, G.P. 1998. Interactions between plant nutrients, water and carbon dioxide as factors limiting crop yields. Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B, 352: 987-996.

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

Houhgton, R.A.1996. Land-use change and terrestrial carbon: the temporal record. En *Forest Ecosystems, Forest Management, and the Global Carbon Cycle*. NATO ASI Series, Serie I: Global Environmental Change, 40. Alemania.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Houghton, R.A. 1995. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850, In: (eds). *Soils and Global Change*. Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B.A. CRC & Lewis Publishers, Boca Raton, FL. p. 45-65
Houghton y Woodwell, 1989; Schneider, 1989; Lashof y Ahuja, 1990; Ben *et al.*, 1995, global carbon cycle". En: *Science*, 241, 1736-1739.

Houghton, R. A., and D. L. Skole, 1990. "Changes in the carbon cycle between 1700 and 1985". En: *The Earth Transformed by Human Action*,. B.L. Turner (ed.), Cambridge.

Houghton, R. A., R. D. Boone, J. M. Melillo, C. A. Palm, G. M- Woodwell, N. Myers, B. Moore and D. L. Skole, 1985a. "Net Flux of CO₂ from tropical forest in 1980". En: *Nature*, 316, 617-620

Houghton, R. A., W. H. Schlesinger, S. brown and J. F. Richards , 1985b. "Carbon dioxide exchange between the atmosphere and terrestrial ecosystems". En *Atmosphere and Terrestrial Ecosystem, in the atmosphere and Terrestrial Ecosystem, in the atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle*, J. R.

Houghton, R.A., G. M. Woodwell, R.A. Sedjo, R.P. Detwiler, C.A. Hall and S. Brown, 1988. "The global carbon cycle". En: *Science*, 241, 1736-1739.

Instituto Nacional de Ecología (1995) Cuaderno de Trabajo: Desarrollo Forestal sustentable. Consultado 28 de junio de 2012.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2001), Síntesis de Información Geográfica del Estado, Aguascalientes México; pg 96.

Inventario Forestal 2010, Secretaria de desarrollo agropecuario, Rancho Guadalupe conjunto SEDAGRO, Metepec Estado de México.

International Geosphere biosphere program 1998. The terrestrial cycle: implications for the Kyoto protocol. *Science* 280:1393-1394.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Zacazonapan, México. Consultado 31 de marzo de 2012.

IPCC. 2000. Land use, land-use change, and forestry special report. *Cambridge University Press* 377 pp

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change; Panel Internacional sobre el Cambio Climático(2001); Third assessment report Climate Change(2001),; Cambridge University Press, Cambridge http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg3/index.htm. 20 Julio 2012.

IPCC/GETE, 2005 La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial—Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos Informe especial.

Jackson, M. L., 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.

Jordan López, Antonio 2005. "Manual de edafología". Departamento de cristalografía, mineralogía y química España.

Lal, R., J. Kimble, R. Follet y B.A. Stewart 1998. Soil processes and the carbon cycle. CRC Press. Boca Raton, FL.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123, 1-22.

Leggett, Jeremy. 1996. Traducción: Vericat, Isabel y Martínez Moctezuma Hugo. El calentamiento Global del Planeta. Informe de Greenpeace, México, Editorial: Fondo Cultural Económico. 197pp.

Lott, E. J. (1993) Annotated checklist of the vascular flora of Chamela Bay region, Jalisco Mexico. California Academy Sciences, California.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Lott, E. J., S.H. Bullock y A. Solís-Magallanes. 1987. Floristic diversity and structure of upland and arroyo forests of Coastal Jalisco. *Biotropica*, 19:228-235.

Ludevid Anglada, Manuel 1997. *El cambio global en el medio ambiente: introducción a sus causas humanas*. Barcelona :Marcombo, 1997. 332p.

Martínez-Yrizar, A. y Sarukhán, J. 1990. Patrones de hojarasca en el bosque tropical caducifolio en México en un periodo de cinco años. *Revista de Tropical Ecology*. 6: 433-444.

Masera, O.R., M.J. Ordoñez, y R. Dirzo, 1997. Carbon emissions from Mexican Forests: Current Situation and Long-term Scenarios, *Climatic Change* 35 pp. 265-295.

Murphy, P.G., A.E. Lugo, 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annals Review of Ecology and Systematics* 17: 67-68 .

NACIONES UNIDAS (1992): Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Nueva York.

Nair, P.K.R., Nair, V.D., Kumar, B.M., Haile S.G., 2009. Soil carbon sequestration in tropical agroforestrysystems: a feasibility appraisal. *Environmental Science and Policy*. En prensa.

Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G. 1991. (2d ed.) World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. United Nation Environment Programme, Nairobi.

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*. UNAM. México.

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



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Pennington, T.D., y J. Sarukhán. 1998. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies, 2a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México

Phillips, O.I., Malhi, V., Higuchi, N., Laurance, W.F., Nunez, P.V., Vasquez, R.M., Laurence, S.G., Ferreirer, L.V., Stern, M., Brown, S., Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science* 282: 439-442.

Porta C., J.; López-Acevedo, M. R. y Roquero C., D. 2003. Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente. 3a. ed. Ediciones Mundi-Prensa. México. 929 p. Plan de Desarrollo Urbano 2009-2012, Secretaría de Desarrollo Urbano.

Rao, D.N., Rao, T.N., Venkataratnam, M., Thulasiraman, S., Rao, S.V.B., Srinivasulu, P. and Rao, P.B. (2001). Diurnal and seasonal variability of turbulence parameters observed with Indian mesosphere-stratosphere-troposphere radar. *Radio Science* 36.

Riquelme, J. 1992. Manejo conservacionista del recurso suelo. IPA Quilamapu, (51): 29-34.

Robert, M. 1996b. Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Dunod/Masson, Paris 240 pp.

Rzedowski J., 1986. Vegetación de México; Escuela Nacional de Ciencias Biológicas; Instituto Politecnico Nacional, Mexico; D. F.

Rzedowski, J. (1978) Vegetación de México. México: Ed. Limusa,. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas; Instituto Politecnico Nacional, Mexico; D. F.

Sanchez, Pedro A. and Terry J. Logan. 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In R. Lal and P. A. Sanchez. Myths and science of soils of the tropics. Soil Science Society of America special Publication no. 29.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Sampson, R.N., M. Apps, S. Brown, C. Cole, J. Downing, L. Heath, O. Ojima, T. Smith, A. Solomon y J. Wisniewski, 1993. Workshop Summary Statement: Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes-quantification of Sinks and Sources on CO₂. Water, Air and Soil Pollution 70, pp. 3-15.

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

SEMARNAT, 2010 Manual y procedimientos para el muestreo de campo, Re-muestreo 2010, Comisión Nacional Forestal.

Smith, T. M., W. P. Cramer, R. K. Dixon, R. Leemans, R. P. Neilson y A. M. Solomon. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. Water, Air and Soil Pollution 70: 3-15. Tipper, R. y B.H. De Jong. 1998. Quantification and regulation of carbon offsets from forestry: comparison of alternative methodologies, with special reference to Chiapas, Mexico. Commonwealth Forestry Review 77: 219-228.

Solórzano Ochoa Gustavo. 2003 "Aportaciones de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano". Gaceta Ecológica, enero-marzo, numero 066. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. Pp. 7-15

Swift, R.S. 2001. Sequestration of carbon by soil. Soil Sci. 166: 858-871.

Sierra, C. 1990. Fertilidad de los suelos en cero labranza. p 196–209. In 1º Jornadas Binacionales de Cero Labranza. 1990, Concepción, Chile.

Theng; B.K.G.R. Tate and P. Sollins. 1989. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: Dynamics of soil organic Matter in Tropical Ecosystems. Coleman D.C., J.M.Oades and G. Uehara(eds). Nifital Project. Manoa, Hawai. pp: 5-31.

Trejo, Vázquez, Irma. 1999. "El clima de la selva baja caducifolia en México". *Investigaciones Geográficas (Mx)*, num. . pp. 40-52.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Van Ginkel, J.H., Whitmore, A.P. and Gorissen, A. 1999. *Lolium perenne* grasslands may function as a sink for atmospheric carbon dioxide. *Journal of Environmental Quality* **28**: 1580-1584.

Vitousek, P. M. *et al.*, 1986. "Global environmental change: an introduction". Department of Biological Sciences. Stanford University, CA; 1986. Tomado de "Human appropriation of products of photosynthesis". *Biosciences* 36: 368-373.

Woomer, P.L. y C.A. Palm. 1998. An approach to estimating system carbon stocks in tropical forests and associated land uses. *Commonw. For. Rev.* 77: 181-190

WRI 2001. Evaluating carbon sequestration projects; A first attempt. World Resources Institute, Washington DC.

Zinn, Y.L., Lala, R. and Resck, D.V.S. 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Tillage Res.* 84, 28-40.



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

ANEXOS

A. USO ACTUAL DEL SUELO

1. Forestal.	2. Forestal con agricultura de temporal.
3. Forestal con ganadería extensiva.	4. Forestal con agricultura de temporal y ganadería extensiva.
5. Plantaciones forestales y/o cultivos semiperennes.	6. Otros (especificar): _____ —

B. COBERTURA DEL SUELO POR LA VEGETACIÓN (%)

Cobertura	1	2	3	4	5
	0-10 %	11-25 %	26-50%	51-75 %	76-100 %
Aérea (400 m ²)					
Arbustiva o renuevos (400m ²)					
Herbácea, (400m ²)					
Mantillo (400 m ²)					
Suelo desnudo (400 m ²)					
Otros (rocas, etc.) (400 m ²)					



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

C. PROFUNDIDAD DEL SUELO

CLAVE	ESPESOR (cm)	CATEGORIA
1	Menor de 15	Muy somero
2	Entre 15 y 30	Somero
3	Entre 30 y 60	Mediano
4	Entre 60 y 90	Profundo
5	Mayor de 90	Muy profundo

D. DEGRADACIÓN Y AFECTACIÓN DEL SUELO

DEGRADACION			
EH Hídrica	EE Eólica	DF Física	DQ Química
EH1 Laminar	EE1 Laminar	DF1 Encostramiento	DQ1 Declinación de la fertilidad (Incendios Forestales, Quemas Agropecuarias, eliminación de microorganismos)
EH2 Canalillos o surco	EE2 Montículos	DF2 Compactación y/o sobrepastoreo	DQ2 Polución
EH3 Cárcavas poco profundas	EE3 Dunas	DF3 Pavimento de piedras	DQ3 Salinización/ Alcalinización
EH4 Cárcavas muy profundas	EE4 Suelo desnudo muy erosionado	DF4 Desecamiento o Aridificación	DQ4 Otros
EH5 Suelo desnudo muy erosionado	EE5 Otros	DF5 Otros (Subsidencia de	



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

GRADO	PORCENTAJE DE AFECTACION DEL SITIO				
	0 - 10	11 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100
Ligero	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Moderado	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Severo	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Extremo	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5

Tipos de degradación presente	Grado o nivel de afección	Porcentaje de afección del sitio



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO.

Perfil No. _____

Precipitación _____

Fecha _____

Temperatura _____

Localización _____

Clima _____

Altitud _____

Vegetación _____

Relieve _____

Material Parental _____

Drenaje Superficial _____

Unidad de Suelos _____

Observaciones generales



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

SUPERFICIE DEL SUELO

Formación de costras duras y salinas,
presencia de piedras y otros.

HORIZONTES

Profundidad en cm.

TRANSICIÓN A LA SIGUIENTE

CAPA

Marcada	Horizontal
Media	Ondulada
Tenue	Irregular

HUMEDAD

Seco	Mojado
Ligeramente Saturado	Húmedo
Muy Húmedo	

TEXTURA

CONSISTENCIA



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

En Seco En húmedo

Suelto	Suelto
Blando	Muy friable
Ligeramente húmedo	Friable
Duro	Firme
Muy duro	Muy firme
Ext. duro	Ext. firme

En muy húmedo

Adhesividad	Plasticidad
No adhesivo	No plástico
Lig. Adhesivo	
Lig. plástico	
Adhesivo	Plástico
Muy adhesivo plástico	Muy

ESTRATOS ENDURECIDOS

- Plinita endurecida
- Capas delgadas ferruginosas
- Duripanes



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Estratos petrocálcicos	
CUTANES	
Composición	
Minerales arcillosos	
Minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro	
Sesquióxidos	
Óxidos e hidróxidos de manganeso	
Sales solubles	
Silicio	
COLOR	
En seco	En húmedo
PEDREGOSIDAD	
<u>Cantidad Tamaño</u>	
Sin piedras	Gravas
Muy pocas piedras pequeñas	Piedras
Lig. pedregoso medias	Piedras
Pedregoso	Piedras



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

grandes	
Muy pedregoso	Piedras
muy grandes.	

Ext. Pedregoso

Forma Clase

Angular	Arenisca
Subangular	Caliza
Redonda	Basalto
Laminar	Ceniza
volcánica	
Tabular	Granito

ESTRUCTURA

Tipo Grado

Laminar	Sin estructura
Columnar	Débilmente
Prismática	
Moderadamente .	
Poliedrica	angular
Fuertemente des.	
Poliedricasubangular	
Granular	



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Grumosa

EROSIÓN

Clase Grado

Eólica	Leve
Hídrica Laminar	Moderada
Hídrica en surcos	Fuerte
Hídrica en cárcavas	

POROSIDAD

Núm. Promedio

Muy pocos

Pocos

Frecuentes

Numerosos

Diámetro

Microporos

Muy finos

Finos

Medianos

Gruesos

Localización



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

Dentro de los agregados

Fuera de los agregados

Morfología

Vesicular

Tubular

Intersticial

PERMEABILIDAD

Muy lenta

Lenta

Moderada

Rápida

Muy rápida

RAICES

Cantidad Tamaño

Muy raras Finas

Raras Delgadas

Pocas Medias

Comunes Gruesas

Abundantes Muy



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

gruesas

Ext. Abundantes

FAUNA

Túneles de lombrices

Deposiciones de lombrices

Acaros

Colémbolos

Miriápodos

Quilópodos

DRENAJE DEL PERFIL

Excesivamente drenado

Bien drenado

Inperfectamente drenado

Pobremente drenado

Muy pobremente drenado



Estimación de carbono en suelos

de selva baja caducifolia en el municipio de

Zacazonapan, México

REACCIONES

Alofano, pH

HCL

H2O2

Determinación de sales

(SO₄, CL, CO₃)

(Cuanalo de la Cerda H., 1975)