



---

---

**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Estudios Superiores Zaragoza**



**Carrera de Biología**

**Tesis**

**Carbono almacenado en suelo, mantillo y masa forestal en Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca.**

**Presentan:**

**Chavarría Sánchez Luisa Ivonne**

**Pompa Arenas Luis Armando**

**Directora de Tesis: Dra. A. Lourdes Castillo Granada**

**Asesor Interno: Biól. Maricela Arteaga Mejía**

**Ciudad de México, Abril 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTO INSTITUCIONALES**

El desarrollo del estudio por espectroscopia en el infrarrojo fue financiado con recursos del proyecto **PAPIME PE206115 “Fortalecimiento de la formación profesional en análisis instrumental (espectroscopia IR) para los alumnos de las carreras de QFB, Biología, IQ con apoyo en las TIC”**. Se agradece el apoyo de la UNAM, a través de la DGAPA.

La toma de muestra y determinaciones físicas y químicas se realizaron en el Laboratorio de Proyectos Ambientales de la Carrera de Biología de la FES Zaragoza UNAM.

## **PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA TESIS EN EVENTOS ACADÉMICOS**

2015, IV Simposio Internacional del Carbono en México. Programa Mexicano del Carbono: “Captura de carbono en suelo, capa de fermentación y mantillo en Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca: estudio de la materia orgánica por FTIR”. Villahermosa, Tabasco. 20 al 22 de mayo de 2015. Modalidad ponencia oral.

2015, XIV Congreso Internacional y XX Congreso Nacional de Ciencias Ambientales: “Composición de la materia orgánica en suelo, capa de fermentación y mantillo por espectroscopia FT-IR, Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca”. Puebla, Puebla. 3 al 5 de junio de 2015. Modalidad ponencia oral.

2015, 11° Congreso de Investigación y Simposio Metropolitano de las Ciencias del suelo. “Captura de carbono en suelo, mantillo y masa forestal en Mazatlán Villa de Flores”. División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. CDMX. 22 de octubre de 2015. Presentación en cartel.

Libro Re-descubriendo El Suelo: su importancia ecológica y agrícola. Capítulo 8 “Captura de carbono en suelo, capa de fermentación y mantillo en Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca: estudio de la materia orgánica por FT-IR. UNAM, FES Zaragoza, 2015. Editores Gerardo Cruz Flores y Alma Bella López López.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Lourdes Castillo Granada por el apoyo en la obtención e interpretación de los espectros en el infrarrojo de las muestras de materia orgánica, realizados en el Laboratorio de Espectroscopia, QFB, FES Zaragoza. UNAM. A través del proyecto PAPIIME PE206115.

A la maestra Maricela Arteaga asesora de este trabajo, por su apoyo en la obtención de muestras en campo y la realización de los parámetros biológicos de las muestras obtenidas. Gracias por el seguimiento, supervisión, apoyo, comprensión, paciencia y cariño.

Al maestro Ramiro Ríos por su asesoramiento en la discusión de resultados de los parámetros físicos y químicos del suelo.

Al maestro Germán Calva por su asesoramiento y sugerencias que enriquecieron este trabajo en la parte de biomasa.

Al señor Moisés y familia por ser guía en campo y su hospitalidad.

A mis amigos Viry, Yuri, Karen, Mauricio, Diego, Ana, Jesús, Wendolyne, Ruth, Vero, Ángel, por su amistad, consejos, ánimos, comprensión y cariño para seguir adelante.

A Ángeles, Cristina y Adrian por su amistad, ánimo para continuar y tiempo porque a pesar de la distancia seguimos buscándonos.

A Luis y Daniela por su ayuda en el trabajo de laboratorio y hacerlo más ameno, su comprensión, ánimo, amistad, cariño y paciencia para la culminación de este trabajo.

A mis compañeros de laboratorio por su ayuda en el trabajo de campo.

## **DEDICATORIAS**

A mis padres, Naty y Luis, en especial a mi mamá, ya que al ser yo uno sus proyectos, está viendo que por su amor incondicional, esfuerzo, apoyo, consejos, enseñanzas, regaños, paciencia y motivación, estoy avanzando en lograr mi sueño y demostrando que se puede lograr lo que se quiere. LOS AMO!!

A mis hermanas Areli, Nallely e Ivette por su comprensión, consejos, apoyo, paciencia y estar presentes en mi vida, las quiero mucho!!!

A mi bebé, que vine en camino, y del que aún no sabemos el sexo, por ser mi motivación para seguir adelante y vivir esta última etapa del trabajo conmigo esperando que en algunos años sea yo la que comparta esta etapa con él. Te amo!!

A Crispin, mi pareja, por su apoyo, comprensión, cariño y por ser parte de mi vida, te quiero mucho!!

A mis sobrinos Itzmin, Itzeder e Itzae y a mi cuñado Juan Carlos, para que vean que lo que se quiere se puede lograr con trabajo, esfuerzo, constancia, apoyo y amor.

A mis abuelos Teresa y Pablo, y a mis tías, Martha, Lupe y Luisa por su apoyo, consejos, cariño y estar presentes en cada etapa de mi vida. Los quiero mucho!!

## CONTENIDO

I.	RESUMEN .....	1
II.	INTRODUCCIÓN .....	2
III.	MARCO TEÓRICO .....	4
III.1	Cambio climático.....	4
III.2	Nitrógeno .....	7
III.3	Fósforo.....	7
III.4	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	9
III.5	Materia orgánica del suelo .....	10
III.6	Mantillo.....	10
III.7	Capa de fermentación.....	11
III.8	Servicios ambientales .....	15
III.8.1	Importancia de los servicios ambientales del bosque.....	17
IV.	MARCO JURÍDICO Y REGULATORIO .....	19
IV.1	Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal 2014 .....	19
V.	ZONA DE ESTUDIO .....	20
V.1	Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca .....	20
V.1.1	Medio físico .....	20
V.1.2	Medio biótico.....	23
V.1.3	Caracterización del ayuntamiento.....	26
V.1.4	Aspectos socioeconómicos .....	26
VI.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	27
VII.	HIPÓTESIS .....	28
VIII.	OBJETIVOS .....	29
VIII.1	Objetivos específicos .....	29
IX.	MÉTODOS .....	29
IX.1	Delimitación del área de estudio .....	29
IX.1.1	Descripción de los sitios de muestreo .....	31
IX.2	Toma de muestras del macizo forestal .....	34

IX.3	Colecta de muestras de suelo, capa de fermentación del suelo y mantillo. ....	35
IX.4	Trabajo en laboratorio .....	35
IX.5	Línea Base del Carbono .....	35
X.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
X.1	Materia Orgánica .....	39
X.1	Nitrógeno .....	44
X.2	Relación C/N.....	48
X.1	Fósforo.....	48
X.1	Biomasa aérea.....	52
X.1	Espectroscopia en Infrarrojo .....	58
XI.	CONCLUSIÓN.....	63
XII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
XIII.	ANEXOS .....	69

## Figuras

Figura 1.	Localización de la zona de estudio. ....	21
Figura 2.	Uso de suelo de Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca. ....	22
Figura 3.	Sitio 1 Bosque de encino.....	33
Figura 4.	Sitio 2 Bosque de encino con frutales. ....	33
Figura 5.	Sitio 3 Bosque de encino.....	33
Figura 6.	Sitio 4 Bosque de encino/pino.....	33
Figura 7.	Sitio 5 bosque de encino.. ....	33
Figura 8.	Sitio 6 cultivo agrícola. ....	33
Figura 9.	Punto 7 Cultivo frutal.....	34
Figura 10.	Sitio 8 suelo erosionado. ....	34
Figura 11.	Punto 9 Bosque de encino. ....	34
Figura 12.	Punto 10 Cultivo frutal.....	34
Figura 13.	Uso de suelo y vegetación de Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca, de acuerdo con INEGI, donde se observa la ubicación de los puntos de muestreo... 38	

Figura 14. MO y CO en S de los 10 sitios de muestreo. ....	41
Figura 15. MO y CO en CdF de 7 sitios de muestreo.....	41
Figura 16. MO y CO en M de 8 sitios de muestreo. ....	41
Figura 17. CO en S de los 10 sitios de muestreo. ....	42
Figura 18. CO en CdF de 7 sitios de muestreo. ....	42
Figura 19. CO en M de 8 sitios de muestreo. ....	42
Figura 20. CO en S, CdF y M de los diez sitios de muestreo. ....	43
Figura 21. Nitrógeno (%) en S de los 10 sitios de muestreo. ....	46
Figura 22. Nitrógeno (%) en CdF de 7 sitios de muestreo. ....	46
Figura 23. Nitrógeno (%) en M de 8 sitios de muestreo ....	46
Figura 24. Nitrógeno (%) en S, CdF y M de los 10 sitios de muestreo.....	47
Figura 25. Concentración de P en S de los 10 sitios de muestreo. ....	50
Figura 26. Concentración de P en CdF de 7 sitios de muestreo. ....	50
Figura 27. Concentración de P en M de 8 sitios de muestreo. ....	50
Figura 28. Concentración de P en S, CdF y M de los 10 sitios de muestreo. ....	51
Figura 29. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para mango. ...	54
Figura 30. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para zapote negro. .....	54
Figura 31. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para aguacate.	55
Figura 32. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para jacaranda. .....	55
Figura 33. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para encino. ...	55
Figura 34. biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para pino.....	55
Figura 35. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para café. ....	56
Figura 36. Contenido de carbono estimado por volumen de biomasa y por mínimos cuadrados.....	57
Figura 37. Espectros IR de ácidos húmicos muestras de S, CdF y M de uso frutícola. .....	60
Figura 38. Espectros IR de ácidos húmicos muestras de S, CdF y M de bosque de pino. ....	60

Figura 39. Espectros de Ir de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos extraídos de muestras de suelo con diferente uso..... 61

**Cuadros**

Cuadro 1. Parámetros determinados y métodos empleados..... 35

Cuadro 2. Puntos de muestreo de suelo, capa de fermentación, mantillo y masa forestal del municipio de Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca. .... 37

Cuadro 3. Cantidad de biomasa obtenida por especie de acuerdo al volumen y por el Método de mínimos cuadrados (MMC). .... 53

Cuadro 4. Cantidad de carbono estimado por ecuaciones de PAOT (2010) y volumen de árbol en pie (Rodríguez et al., 2013)..... 58

## I. RESUMEN

El municipio de Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca se encuentra dentro de la Región Prioritaria Terrestre (130), una parte importante de superficie ha sido desmontada para cambiar el uso de suelo forestal por frutícola y agrícola, causando diferentes grados de deterioro. Se delimitó la zona de estudio de acuerdo al uso de suelo y se muestrearon 10 sitios, de uso forestal, agrícola, frutícola y suelo erosionado; en cada sitio se midió un transecto de 20 x 30 m y se tomaron muestras de mantillo, capa de fermentación y suelo. A los árboles se les midió su diámetro a la altura del pecho (DAP) y su altura para la estimación de biomasa, de acuerdo al volumen de cada árbol y al Método de Mínimos Cuadrados (MMC) (Yáñez y Vargas, 2004) y posteriormente su contenido de carbono orgánico. A cada muestra de suelo, capa de fermentación y mantillo se le determinó el porcentaje de materia orgánica, carbono orgánico, densidad aparente, nitrógeno, fósforo y se le extrajo los ácidos húmico y fúlvicos para conocer la composición química de la materia orgánica.

El contenido de materia orgánica (MO) en los suelos estudiados registra entre 1.2 y 28.5%, este intervalo de variación se presenta en los bosques de encino, los porcentajes altos indican un bosque conservado, en general, los valores más altos de MO se registran en sitios menos alterados, seguido de los cultivos frutales, el cultivo agrícola y por último los suelos erosionados. Para capa de fermentación y mantillo las concentraciones de carbono orgánico (CO) aumentan siendo mayor en mantillo debido a la producción de hojarasca, ya que conforme se va descomponiendo va formando parte de cada sustrato del suelo. En la estimación de biomasa el coeficiente de determinación fue de 0.92 a 1, se obtuvo por el método de volumen, el árbol mango fue el de mayor biomasa.

La línea base obtenida muestra que el principal reservorio de carbono es el mantillo debido a su tasa de producción en sitios conservados, que corresponden a los bosques de encino y pino, ya que por las condiciones físicas, químicas y biológicas, se obtiene un mayor porcentaje de CO<sub>2</sub> capturado en los componentes del sistema.

## II. INTRODUCCIÓN

Las áreas naturales de México como resguardo del capital natural del país, constituyen una fuente importante de servicios ambientales, son espacios naturales que coadyuvan a regular procesos ambientales tan relevantes como el ciclo hidrológico o la concentración de gases en la atmósfera. Asimismo, son soporte para el desarrollo de muy diversos ecosistemas, contribuyen no sólo a la conservación de la riqueza biológica del país, sino a la producción de recursos naturales y a la satisfacción de las necesidades espirituales e intelectuales del ser humano. La creciente presencia de comunidades rurales en condiciones de atraso económico y altos niveles de pobreza ha conducido a la explotación de los recursos naturales, poniendo en peligro la supervivencia de este importante patrimonio natural del país (Franco, 2009).

Se ha venido planteando que la conservación de los espacios naturales debe buscar, necesariamente, un equilibrio entre crecimiento económico, bienestar social y aprovechamiento racional de los recursos naturales, con una visión a largo plazo. Ello ha llevado a desarrollar esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) con lo que se logra que dichas comunidades colaboren en la conservación del medio ambiente que las rodea (Franco, 2009).

Según (Molina, 2011), el cambio climático producido por la alta cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) perdurará muchos siglos. Si se llegaran a estabilizar las concentraciones de GEI, mediante un serio control de las emisiones de todo el mundo, las temperaturas globales promedio subirían a un ritmo de solo unas décimas de grado por siglo en vez de varios grados, por lo que es esencial que sean tomadas ciertas medidas para reducir las emisiones de GEI y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa vegetal. Para ello, deben ser desarrolladas nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de suelos agrícolas y bosques. La captura de carbono y el aumento de la materia orgánica del suelo tendrán un impacto directo sobre la calidad y la fertilidad de los

suelos. Habrá también efectos positivos importantes sobre el ambiente y la resiliencia y la sostenibilidad de la agricultura (FAO, 2002).

Mazatlán Villa de Flores Oaxaca, es un sitio que por sus recursos forestales y ubicación geográfica, proporciona Servicios Ambientales (SA), como captación de carbono tanto en la masa forestal, como en el mantillo y en la capa de fermentación, captación y filtración de agua y conservación de la biodiversidad (CONABIO, 2010). Sin embargo, en los últimos años la masa forestal ha sido desmontada, para cambiar el uso del suelo de vocación forestal principalmente, a vocación agrícola, cuyo producto es para autoconsumo. Por lo que es necesario realizar una estimación de los SA que proporciona la masa forestal, el mantillo y la capa de fermentación para proponer estrategias de conservación.

### III. MARCO TEÓRICO

#### III.1 Cambio climático

El cambio climático global asociado al aumento potencial de la temperatura del planeta, es uno de los problemas ambientales más severos que se enfrentan en el presente siglo. Se acentúa por el rápido incremento de las emisiones de GEI y por las dificultades de reducirlos en forma sustantiva en el futuro próximo (Ordóñez y Masera, 2001). En nuestro país, los principales emisores de GEI son el sector energético, por el uso de combustibles fósiles, con 83.8 millones de toneladas de carbono (MtC), el cambio en el uso del suelo y la forestería con 30.2 MtC y los procesos de la industria del cemento con 3.1 MtC, dando un total de 117.1 MtC. El Plan Intergubernamental sobre el Cambio Climático estimó que las emisiones de México contribuyen cada año con el 1.41% a las emisiones totales de carbono del planeta (Ordóñez y Masera, 2001).

El cambio climático se suma, junto con la deforestación, la sobreexplotación de los recursos naturales y la contaminación, entre otras actividades humanas, a la lista de factores que impulsan la más grave crisis que vive la biodiversidad desde la extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años. La magnitud del problema es tal que el Panel Gubernamental sobre Cambio Climático señala que de las especies que se han estudiado, alrededor del 50% ya se han visto afectadas por el cambio climático (SEMARNAT, 2009).

Diferentes autores (Schneider, 1989; Houghton y Woodwell, 1989; Lashofiahuja, 1994; Dixon *et al*, 1994; Macera, 1995; Schimel, 1995; Ordóñez, 1998 y 1999) afirman que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmósfera por el cambio de uso de suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución en las zonas tropicales. La deforestación mundial anual se calcula en 17 millones de ha, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 mil millones de toneladas de carbono (GtC); lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales.

Específicamente para México este fenómeno es de singular importancia ya que se encuentra entre los 20 países con mayores emisiones de GEI y es una de las regiones más vulnerables a los impactos asociados al cambio climático debido a sus condiciones bioclimáticas y socioeconómicas (Ordóñez y Masera, 2001).

A nivel nacional los bosques son actualmente la segunda fuente de emisiones de GEI, contribuyendo aproximadamente con el 30% del total. Los bosques de México pueden ser extremadamente vulnerables al calentamiento global y representan un almacén de carbono aproximadamente de ocho GtC, cantidad equivalente a las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>. La capacidad de almacenamiento de carbono en estos bosques se está perdiendo rápidamente por los procesos de deforestación y degradación de los ecosistemas forestales.

Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático es imprescindible, por un lado, conocer la dinámica del carbono en los sistemas forestales y, por otra, las modificaciones a los flujos de carbono derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo. Un primer paso indispensable para lograr este objetivo, es contar con la información básica sobre los contenidos de carbono en los diferentes almacenes del ecosistema (Ordoñez, 1998).

Los principales almacenes de carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. De igual manera, el suelo juega un papel muy importante en el ciclaje y almacén de carbono en estos ecosistemas. Como ejemplos de la influencia global de los procesos del suelo están, los productos de la desnitrificación, tales como Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Di nitrógeno (N<sub>2</sub>), así como los producidos por la descomposición de la materia orgánica del suelo, como el CO<sub>2</sub>,

Metano (CH<sub>4</sub>) y otros gases asociados al ciclo del carbono. El suelo tiene una gran capacidad de “secuestrar” carbono ya que puede acumularlo por miles de años (Schlesinger, 1990).

Un segundo factor clave para determinar los flujos netos de carbono a la atmósfera son los cambios en el uso del suelo, mismos que modifican, muchas veces de manera drástica los contenidos de carbono en los distintos compartimientos del sistema. Estudiar la influencia de los procesos de cambio de uso del suelo en la dinámica de emisiones de carbono es crítico en el país, pues la deforestación y la degradación del recurso forestal han sido muy aceleradas en las últimas décadas. La tasa de deforestación no se conoce con precisión, aunque se estima que oscila entre 370 y 670 mil ha año<sup>-1</sup> para principios de los noventa tan sólo en los bosques templados y las selvas. Maserá *et al.* (1997), afirman que probablemente el valor más alto sea el correcto; de acuerdo con esta última estimación se tiene que, para los bosques templados, la tasa de deforestación es de 1% y para las selvas 2%, al año (Maserá *et al.*, 1995). Las causas que más impacto tienen en la deforestación son el cambio en el uso del suelo, tales como la conversión a ganadería y a cultivos agrícolas. Estos factores varían en importancia según el tipo de ecosistema (Ordoñez, 1998).

A pesar de ser actualmente fuentes netas de GEI los bosques tienen la posibilidad de mitigarlos por medio de la captura de carbono en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como: sumideros (Maserá, 1996; Ordoñez, 1998 y 1999).

Los ecosistemas boscosos pueden funcionar como importantes sumideros de carbono debido a la cantidad de este elemento acumulado en los diversos tipos de biomasa; que se expresa como toda materia orgánica viva o muerta generada a partir de un proceso biológico (IPCC, 2001, citado en Aguilar, 2011). En los bosques, puede estar arriba del suelo, sobre el suelo o bien, en forma subterránea. La biomasa sobre el suelo se divide en madera muerta y el mantillo o necromasa (IPCC, 2001, citado en Aguilar, 2011).

La biodiversidad depende del contenido de materia orgánica y su aumento en el suelo permitirá nuevas funciones. La microfauna tomará a su cargo algunas funciones como la labranza. Este concepto implica el desarrollo de prácticas específicas de uso y manejo de la tierra. Es necesario definir algunas prioridades para las tierras degradadas con medidas adaptadas para las tierras cultivadas, las pasturas y la agrosilvicultura. La clave de todo ello será el desarrollo de la agricultura de conservación (FAO, 2002).

### **III.2 Nitrógeno**

El nitrógeno constituye aproximadamente el 78% del volumen de la atmósfera, pero no está disponible en su mayor parte para las plantas superiores. Solamente mediante la fijación del carbono por parte de los microorganismos del suelo y por medio de las descargas eléctricas, una pequeña parte de esta reserva del nitrógeno queda disponible. Los compuestos nitrogenados se acumulan en los suelos en forma de residuos vegetales y animales, sobre cada lugar se establece una especie de equilibrio entre la tasa de acumulación y de descomposición en periodos largos. El nitrógeno total en suelos forestales se encuentra sobre todo en las capas de humus de la cubierta forestal y en el horizonte A1 (Pritchett, 1991).

Oaks (1994) citado por Córdoba (1998) indica que el nitrógeno en forma de nitrato es el más utilizado por las plantas, siendo un elemento muy móvil. En su forma mineral ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ), en el interior de las células, pasa a constituir las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos formación de aminoácidos y su posterior síntesis de prótidos, proteínas, hormonas y clorofila.

### **III.3 Fósforo**

La principal fuente de fósforo orgánico está constituida por los residuos vegetales y animales que se adicionan al suelo. Los compuestos fosfatados más importantes en la materia orgánica son núcleo proteínas, fosfolípidos y fosfoazúcares. La mineralización de la materia orgánica es lenta y por vía microbiana, requiriendo de temperaturas de aproximadamente 25 a 30°C, pH neutro y humedad cercana a

capacidad de campo. El proceso de mineralización de la materia orgánica está regido por la relación C/P, cuyo valor crítico es aproximadamente 200 (Sanzano, 2013).

El P es un elemento esencial para los procesos de transferencia de energía que son fundamentales para la vida y el crecimiento de todas las plantas verdes (Pritchett, 1991).

Córdoba (1998) menciona que el fósforo interviene en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos y de fosfolípidos, división celular, respiración y fotosíntesis síntesis de grasa, azúcares y proteínas; acumulación de energía en los fenómenos de fosforilación y regulación del pH en células, etc.

La cantidad de fósforo orgánico es muy variable entre los tipos de suelo, relacionado con el contenido de materia orgánica entre y dentro de los diferentes perfiles. Las formas químicas del fósforo orgánico incluyen ésteres de inositol fosfato, fosfolípidos, ácidos nucleicos, azúcares fosforilados y derivados de ácido fosfórico, todos probablemente con complejos orgánicos (Molina y Portilla, 1997).

El fósforo en la solución del suelo es muy baja, por lo general menos de una parte por millón (ppm). La cantidad disponible para las plantas resulta ser afectada por varios factores, como la acidez del suelo, la presencia de hierro y aluminio solubles, el tipo de humus y su tasa de descomposición, así como las cantidades totales y formas de fósforo mineral en el suelo. Por lo general hay menos fósforo en los suelos de bosques de coníferas que en los bosques de madera dura, probablemente reflejando la capacidad de las coníferas para sobrevivir y competir sobre suelos que contienen un nivel relativamente bajo de fósforo (Pritchett, 1991).

### III.4 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

El CO<sub>2</sub> es el gas que más contribuye al calentamiento global. Una forma de mitigar sus efectos es almacenarlo en la biomasa (mediante fotosíntesis) y en el suelo (a través de la acumulación de materia orgánica). Los sistemas agroforestales (SAF) representan sumideros importantes de carbono (C); sin embargo, no han sido considerados en el pago de servicios ambientales, debido entre otras razones, a la ausencia de información cuantificada sobre su potencial de almacenamiento y fijación de C (Ávila *et al*, 2001).

A nivel fisiológico, la mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y en los océanos ha tenido consecuencias importantes en los procesos de alimentación y crecimiento de muchas especies. Algunas especies de árboles y plantas alpinas, por ejemplo, se han beneficiado debido a que han sido capaces de absorber e integrar a sus tejidos una mayor cantidad de CO<sub>2</sub>, lo que las ha hecho crecer más rápido (SEMARNAT, 2009).

Las actividades humanas han modificado el clima del planeta. Todas las observaciones están directamente relacionadas con la presencia de los gases y partículas que los humanos ha introducido al sistema, como industrias, vehículos, al talar bosques y al cambiar el uso de suelo para tener grandes extensiones sembradas (Binimelis, 2010).

Como producto del aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, se ha promovido la investigación relacionada con el cambio climático y uso de la tierra en los trópicos, enfocado mayormente en el análisis de los impactos de la deforestación y los efectos de uso de la tierra en las emisiones de GEI; así como, la fijación biológica de C como un medio para reducir las concentraciones (Kanninen, 2003, Houghton, 2008, citado por Aguilar, 2011). Los boques tropicales resultan ser apropiados para este fin ya que combinan altas tasas de fijación de C con gran área disponible (Moura Costa 1996 y Ortiz *et al.*, 1998, citados por Vaccaro *et al.*, 2003, citados por Aguilar, 2011).

### **III.5 Materia orgánica del suelo**

El suelo es una fina capa variable de minerales y materia orgánica no consolidada en la corteza de la tierra, que ha sido formado como resultado de varios procesos físicos, químicos y biológicos operando simultáneamente a lo largo del tiempo; en una continua interacción del sistema biótico (fauna y flora), climático (atmosférico e hidrológico) y componentes topográficos del medio ambiente (De Bano *et al.*, 1998).

Toda la biomasa de origen vegetal y animal que llegan al suelo conforman la materia orgánica del mismo; la principal fuente de ella son los residuos vegetales, los cuales aportan energía y alimento a los microorganismos del suelo, al tiempo que son la materia prima para la formación de los coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo (Jaramillo, 2002).

El término humus se utiliza cuando se desea hablar de la materia orgánica que ha perdido todo vestigio de organización biológica (celular) y que vista al microscopio aparece como una materia amorfa, compleja, macromolecular y polimérica. El humus posee inusuales y excepcionales habilidades de cambio, alteración y combinación molecular, ya que son capaces de interactuar a nivel molecular con otras sustancias orgánicas e incluso inorgánicas (Melo, 2006).

### **III.6 Mantillo**

El mantillo comprende toda la biomasa no viva con un diámetro inferior a un diámetro mínimo, el cual es determinado por el país, por ejemplo, 10 cm, que yace muerta, en varios estados de descomposición sobre el suelo mineral u orgánico, comprende la capas de detritus, fúmica y húmica (Aguilar, 2011). Las raíces finas vivas (de tamaño inferior al límite de diámetro sugerido para la biomasa bajo el suelo) se incluyen en el mantillo cuando no se pueden distinguir empíricamente de él (IPCC, 2001, citado por Aguilar, 2011).

La biomasa de mantillo y madera muerta forman parte de diversos ecosistemas boscosos y se encuentran disponibles en diferentes cantidades. Son importantes reservorios de carbono en el bosque y su acumulación depende en su mayoría, de las tasas de producción de cada tipo de comunidad vegetal y las tasas de mineralización o descomposición. Su cantidad en el ecosistema se ve igualmente regulado por el clima y sustrato (Arnaldos *et al.*, 2004 y Aguilar, 2011).

### **III.7 Capa de fermentación**

La capa de fermentación (F) es la capa que se encuentra por debajo del horizonte orgánico (HO) donde encontramos materia orgánica que ha perdido completamente su estructura original y se encuentra en diferentes grados de descomposición, que va desde la materia orgánica completamente descompuesta (Humus), hasta lo parcialmente descompuesto. Este horizonte es más compacto que el HO e incluye muchas veces una alta proporción de madera putrefacta (CONAFOR, 2011).

Entre los principales servicios que proporcionan los ecosistemas forestales se encuentra la captura de carbono en el suelo. La vegetación para su crecimiento requiere de la producción de celulosa y esto se realiza mediante un proceso fotosintético a través del que capta CO<sub>2</sub> atmosférico y se libera oxígeno (O<sub>2</sub>). En condiciones de rápido crecimiento los bosques pueden captar grandes cantidades de carbono, mantenerlo como parte de la estructura de las plantas y, con el tiempo, favorecer su almacenamiento como componente del suelo. La captura de carbono ayuda a regular las concentraciones de gases atmosféricos y a incrementar la concentración de oxígeno y reducir la de CO<sub>2</sub>. De esta manera, se busca controlar la concentración de uno de los principales GEI, coadyuvando con ello a combatir el calentamiento global del planeta (Franco, 2009).

La formación del humus tiene su origen en el ciclo del carbono en la naturaleza. Se ha calculado que existen alrededor de 700 000 millones de toneladas métricas (TM) de carbono en forma de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre, mientras que 827 000 millones de TM se encuentran inmovilizadas en la biomasa vegetal. El paso de una

forma a otra es regulado a través de la fotosíntesis por las algas y las plantas verdes y por medio de la respiración de los organismos vivientes. De un modo general esto constituye el ciclo del Carbono (Bendek, 2009).

El conjunto de los exudados radiculares de las plantas vivas y la descomposición de animales y plantas, aportan una parte  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y otra constituye el material a partir del cual se forma el humus. A esta etapa de transformaciones se le conoce como el ciclo Interno del carbono y sucede en el suelo. Los residuos de vegetales y animales conforman la materia prima de la cual se origina la materia orgánica del suelo.

El conjunto de transformaciones que sufren estos residuos orgánicos, puede seguir diferentes rutas dependiendo del tipo y cantidad de material orgánico, del ambiente edáfico, del material parental, de la actividad biológica y del clima. Estos procesos denominados; descomposición y mineralización son eminentemente biológicos y durante su desarrollo el material tiende a transformarse. La humificación, es un proceso complementario que se lleva a cabo estrictamente en el suelo y es de carácter físico, químico y biológico, su desarrollo muestra en el suelo productos de síntesis por transformación de los materiales. Bajo este complejo marco de interacciones aparecen en el suelo: a) materiales orgánicos frescos; b) productos minerales liberados como  $\text{CO}_2$ , pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal, nítrico, sulfatos y fosfatos; c) sustancias orgánicas como lípidos, proteínas, polifenoles, azúcares, vitaminas y antibióticos y el conjunto de ellas son las denominadas sustancias no húmicas; d) sustancias prehúmicas que mediante mecanismos de estabilización van a constituir las verdaderas sustancias húmicas y por último, e) un grupo de materiales más elaborados las verdaderas sustancias húmicas. De acuerdo con esto es de esperar que existan en el suelo tal variedad de composiciones de materiales orgánicos que sólo es posible conocerlos en estudios detallados (Bendeck, 2009).

El máximo componente de la materia orgánica del suelo es el humus, que puede representar entre el 60 y 90% del carbono total del suelo. El humus

convencionalmente se ha dividido en sustancias no húmicas y sustancias húmicas (SH). Las sustancias no húmicas pueden representar hasta el 30% del humus y están constituidas por compuestos orgánicos químicamente definidos, como son lignina, celulosa, proteínas, carbohidratos, grasas, ácidos orgánicos, pigmentos y una fracción de materia orgánica soluble en agua que o bien es producto de la descomposición y mineralización del material orgánico de partida o bien es de síntesis microbial o son sustancias orgánicas libres presentes en el suelo.

Las SH son un campo de estudio que tiene mucho tramo por recorrer, ya que no se conoce mucho acerca de ellas a pesar de su importancia. Es por ello que cualquier aportación seria en este campo es relevante para su mejor entendimiento, ya que ayudará a discernir la forma en que estas sustancias actúan en el medio ambiente y en los ecosistemas en que se encuentran (Melo, 2006).

Desde un punto geológico, las SH son los intermediarios químicos entre las plantas y los fósiles; son el último producto en descomposición natural aeróbico de toda la materia viviente en presencia de agua. Para que el proceso de humificación (descomposición) se lleve a cabo, se requiere que los restos de plantas y animales sean dirigidos de manera sucesiva por al menos tres especies diferentes de microorganismos apropiados, lo que culmina en la formación de una de las sustancias naturales más complejas en la tierra, por lo que la naturaleza química de los suelos, de los pantanos y de los sedimentos varía según la transformación y degradación que haya sufrido la materia orgánica de la que provienen (Melo, 2006).

Siguiendo los criterios de Kononova, las SH se pueden clasificar y fraccionar en los siguientes grupos:

- Ácidos húmicos (AH)
- Ácidos fúlvicos (AF)

- Huminas

Los AF son sustancias químicas naturales polifuncionales muy complejas, que forman parte de las SH, las cuales están presentes en suelos, lagos y mares, y que además son la base de los ciclos de los micronutrientes del suelo. Los AF son agentes complejantes de cationes metálicos muy importantes, por lo que causan un impacto directo en la biodisponibilidad y transporte de los mismos (Melo, 2006).

Los AF son moléculas de bajo peso molecular (relativamente), extremadamente complejas, solubles en agua, ya sea a pH ácido o básico; su estructura molecular le confiere sus raras propiedades y naturaleza bioactiva (Melo, 2006).

Los ácidos húmicos (AH), como parte fundamental en el mantenimiento y mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, han motivado a miles de investigadores en el conocimiento de su estructura y su relación con su transporte y la retención de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Mosquera *et al.*, 2007).

Otros autores sostienen que los AH son mezclas de carbohidratos, proteínas y lípidos procedentes tanto de plantas como de origen microbiano, junto con degradaciones parciales de lignina y taninos, y con materiales microbianos como las melaninas (Burdon, 2001, citado por Mosquera, 2007), o son pseudo estructuras definidas como constituciones moleculares hipotéticas con elementos, estructuras y grupos funcionales parecidos y consistentes con alguna o todas las propiedades observadas en una mezcla dada. (MacCarthy, 2001, citado por Mosquera, 2007).

Los dos nutrientes que más frecuentemente limitan el crecimiento de las plantas son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Los ciclos de ambos nutrientes son muy diferentes, tanto en lo que se refiere a los flujos de entrada y salida de los ecosistemas como a los mecanismos de retención dentro de éstos (Gallardo *et al.*, 2009).

Los ácidos húmicos y fúlvicos contienen las mismas formas de N que los que se obtienen cuando los suelos están sujetos a una hidrólisis ácida. Sin embargo, los patrones de distribución del N varían (Silva, 1998).

El nitrógeno orgánico del suelo consiste en una mezcla heterogénea de componentes incluidos las hojas y residuos animales, biomasa microbiana, metabolitos microbianos adsorbentes a coloides y sustancias húmicas estables (Curtin y Wen, 1999).

### **III.8 Servicios ambientales**

Los servicios ambientales se definen como todos aquellos beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos beneficios contemplan servicios de suministro, como alimentos y agua; servicios de regulación, como la regulación de inundaciones, sequías, degradación de los desechos y enfermedades a través del control de sus vectores; servicios de base o soporte, como la formación de suelo y los ciclos de los nutrientes; y servicios culturales como los beneficios recreacionales, espirituales, religiosos y otros beneficios intangibles (Alcamo, 2003).

La subsistencia y el desarrollo de toda la sociedad dependen del aprovechamiento sustentable de sus recursos naturales. Sin embargo, el ser humano en su carrera por conquistar y poseer ha provocado la extinción de muchas especies animales y vegetales y ha deteriorado su entorno natural, en muchos casos de manera irreversible (CONAFOR, 2012).

Esto plantea la cuestión de si vale la pena hacerlo. La respuesta depende de la importancia relativa de los servicios ambientales en comparación con los usos y beneficios del bosque y de la medida en que se puedan tener múltiples beneficios de un solo sitio. Es importante hacer notar que puede darse el caso de que los diferentes SA no siempre sean compatibles, lo que conduce a decisiones difíciles acerca de cuáles servicios son de mayor importancia (Pagiola *et al*, 2006).

Por ello, cada vez es mayor la importancia de fomentar la conciencia sobre la relación que existe entre los recursos naturales, la salud planetaria y la especie humana. Los Servicios Ambientales del Bosque (SAB) son los beneficios que la gente recibe de los diferentes ecosistemas forestales, ya sea de manera natural o por medio de su manejo sustentable, en el nivel local, regional o global (CONAFOR, 2012).

Los SA influyen directamente en el mantenimiento de la vida, generando beneficios y bienestar para las personas y las comunidades (CONAFOR, 2012).

Son ejemplos de servicios ambientales del bosque:

- Captación y filtración de agua;
- Mitigación de los efectos del cambio climático;
- Generación de oxígeno y asimilación de diversos contaminantes;
- Protección de la biodiversidad;
- Retención del suelo;
- Refugio de fauna silvestre;
- Belleza escénica, entre otros.

Regularmente, los SA son gratuitos para la gente que disfruta de ellos, mientras que los dueños y poseedores de terrenos forestales que los proveen no son compensados en forma alguna. Si bien el concepto SA es relativamente reciente y permite tener un enfoque más integral para interactuar con el entorno, en realidad las sociedades se han beneficiado de dichos servicios desde sus orígenes, la mayoría de las veces sin tomar conciencia de ello (CONAFOR, 2012).

Los SA se dice que son beneficios intangibles (aquellos que sabemos que existen, pero cuya cuantificación y valoración resultan complicadas), ya que a diferencia de los bienes o productos ambientales, como es el caso de la madera, los frutos y las plantas medicinales de los cuales nos beneficiamos directamente, los SA no se “utilizan” o “aprovechan” de manera directa, sin embargo, nos otorgan beneficios, como tener un buen clima, aire limpio, o simplemente un paisaje bello (CIFOR, 2006).

### **III.8.1 Importancia de los servicios ambientales del bosque**

Los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) son una clase de instrumentos económicos diseñados para dar incentivos a los usuarios del suelo, de manera que continúen ofreciendo un servicio ambiental (ecológico) que beneficia a la sociedad como un todo. En algunos casos, los pagos buscan que los usuarios del suelo adopten prácticas de uso que garanticen la provisión de un servicio en particular (por ejemplo plantar árboles con fines de secuestro de carbono). Estos pagos tienen cinco rasgos distintivos.

Primero, el PSA es un acuerdo voluntario y negociado, no una medida de mando y control. Los proveedores potenciales de servicios deben tener opciones reales de uso de la tierra, entre las cuales el servicio proveído no es el uso preferido. Segundo, se debe definir claramente lo que se está comprando – ya sea un servicio mensurable (por ejemplo, toneladas de carbono secuestrado), o un uso equiparable de la tierra pero limitado a las prácticas susceptibles de ofrecer el servicio (por ejemplo, conservación de los bosques para garantizar la provisión de agua). Tercero, debe darse una transferencia de recursos de al menos un comprador del SA. Cuarto, por lo menos un vendedor directamente o a través de un intermediario. Quinto, los pagos que los compradores hacen deben ser realmente contingentes por un servicio ofrecido de manera ininterrumpida durante la duración del contrato. Este último prerrequisito es importante, ya que establece la condición entre la provisión del servicio y el pago: si no hay provisión, no hay pago. Idealmente, los pagos deben de ser escalonados según la cantidad o calidad del servicio ambiental ofrecido, al menos hasta un máximo convenido. Los pagos deben ser en efectivo o en especie. Los compradores de SA normalmente monitorean si se está cumpliendo con el trato; por ejemplo, si se ha reducido la caza o la deforestación de la forma en que se estipuló en el contrato. Si así no fuera, los pagos se suspenden o cancelan definitivamente (CIFOR, 2006).

Aguilar y colaboradores (2011) afirman que en el mantillo del suelo se almacena mayor cantidad de Carbono, ya que, Robert (2002) señala que la vegetación y la atmósfera almacenan considerablemente menos cantidades que los suelos. (2011), sostienen que el mantillo es un importante reservorio de carbono en el bosque y su acumulación depende de las tasas de producción de cada tipo de comunidad vegetal y las tasas de mineralización o descomposición y su cantidad se ve regulado por el clima y el sustrato, al igual que la disponibilidad de este elemento en el suelo mineral es altamente influenciado por la biomasa aérea y factores como la densidad aparente, la textura y la profundidad así como por procesos de lixiviación, erosión y mineralización del suelo; Percy *et al.* (2003) mencionan que durante los años 90's la biosfera terrestre absorbió el carbono a una velocidad de aproximadamente 1,4 Gt por año y se estimó que los árboles y los suelos forestales contienen 1146 Gt del Carbono, y que la mayor densidad del carbono se encuentra en los bosques en latitudes altas debido a las grandes reservas de carbono en el suelo.

Dado que el componente aéreo del estrato arbóreo constituye uno de los principales almacenes de biomasa, y por lo tanto de carbono, para estimarla se utilizarán modelos alométricos a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP) y/o la altura total asociadas a las condiciones del lugar para establecer las relaciones forestales con el medio, debido a que hay factores asociados a la fenología de los árboles, y condiciones del sitio donde se desarrollan que pueden influir en la acumulación de biomasa de una determinada especie. Asimismo, las relaciones entre las dimensiones del fuste y la cantidad de biomasa se han empleado para estimar el carbono presente en diferentes tipos de vegetación y la distribución de la biomasa en los árboles.

Robert, (2002) menciona que se deben tomar medidas para reducir las emisiones de GI y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa. Para ello, deben ser desarrolladas nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques. Una opción se basa en la captura de carbono en los

suelos o en las biomásas terrestres, sobre todo en las tierras usadas para la agricultura o la forestación. A partir del Protocolo de Kyoto esto se conoce como Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Forestación. Por lo que es de mayor importancia cuantificar el carbono en la biomasa, mantillo, y en el suelo forestal para tener una estimación de la capacidad de almacenamiento, liberación o neutralidad del C y de los nutrimentos en los mismos.

#### **IV. MARCO JURÍDICO Y REGULATORIO**

##### **IV.1 Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal 2014**

Título Primero. De las Reglas de Operación

Sección II. De los componentes de las Reglas de Operación

Artículo 2. Los componentes de apoyo, objetivos y población objetivo para cada uno de éstos son los siguientes.

Componente V. Servicios ambientales:

Objetivo: Otorgar apoyos a dueños de terrenos forestales, que de manera voluntaria deciden participar en el programa de pago por servicios ambientales, con el objetivo de incorporar prácticas de buen manejo para promover la conservación y manejo sustentable de los ecosistemas, y fomentar la provisión en el largo plazo de los servicios ambientales, tales como la captación de agua, el mantenimiento de la biodiversidad y la captura y conservación del carbono, los cuales benefician a centros de la población o el desarrollo de actividades productivas.

Población objetivo: Propietarios o poseedores de terrenos forestales, definidos como legibles, cuyos predios mantienen una cobertura forestal en buen estado de conservación, incluyendo a los que tienen un manejo y aprovechamiento forestal legalmente autorizado.

Sección III. De la terminología y acrónimos

Artículo 3. Para los efectos de estas Reglas de Operación, además de la terminología contenida en el artículo 7 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y en artículo 2 de su Reglamento, se entenderá por:

I. Apoyos: Recursos económicos que el gobierno federal prevé en el Presupuesto de Egresos de la Federación, y las transferencias y aportaciones que ingresen al Fondo Forestal Mexicano, que se otorgan por conducto de la Comisión Nacional Forestal a las personas beneficiarias de estas Reglas de Operación.

IV: Beneficiarios (as): Las personas físicas, morales y jurídico-colectivas (ejidos y comunidades) quienes obtuvieron un apoyo por parte de la CONAFOR, por cumplir los requisitos y disposiciones establecidas en las presentes Reglas de Operación.

X. CONAFOR: Comisión Nacional Federal

XXVI. Ley: Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

## **V. ZONA DE ESTUDIO**

### **V.1 Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca**

Toponimia: Mazatlán en mazateco, significa “Tierra de Venados”. Villa de Flores es en honor al gran pensador y político de esta zona Ricardo Flores Magón (EMyDM, 2013).

#### **V.1.1 Medio físico**

##### **Localización**

El municipio de Mazatlán Villa de Flores, como se observa en la Figura 1, colinda al norte con los municipios de San Juan de los Cués, San Lucas Zoquiápam y Huautla de Jiménez; al este con los municipios de Huautla de Jiménez, Huauteppec, Santa Ana Cuauhtémoc y Cuyamecalco Villa de Zaragoza; al sur con los municipios de Cuyamecalco Villa de Zaragoza, San Juan Bautista Cuicatlán y Santa María Tecomavaca; al oeste con los municipios de Santa María Tecomavaca y San Juan de los Cués (INEGI, 2013).

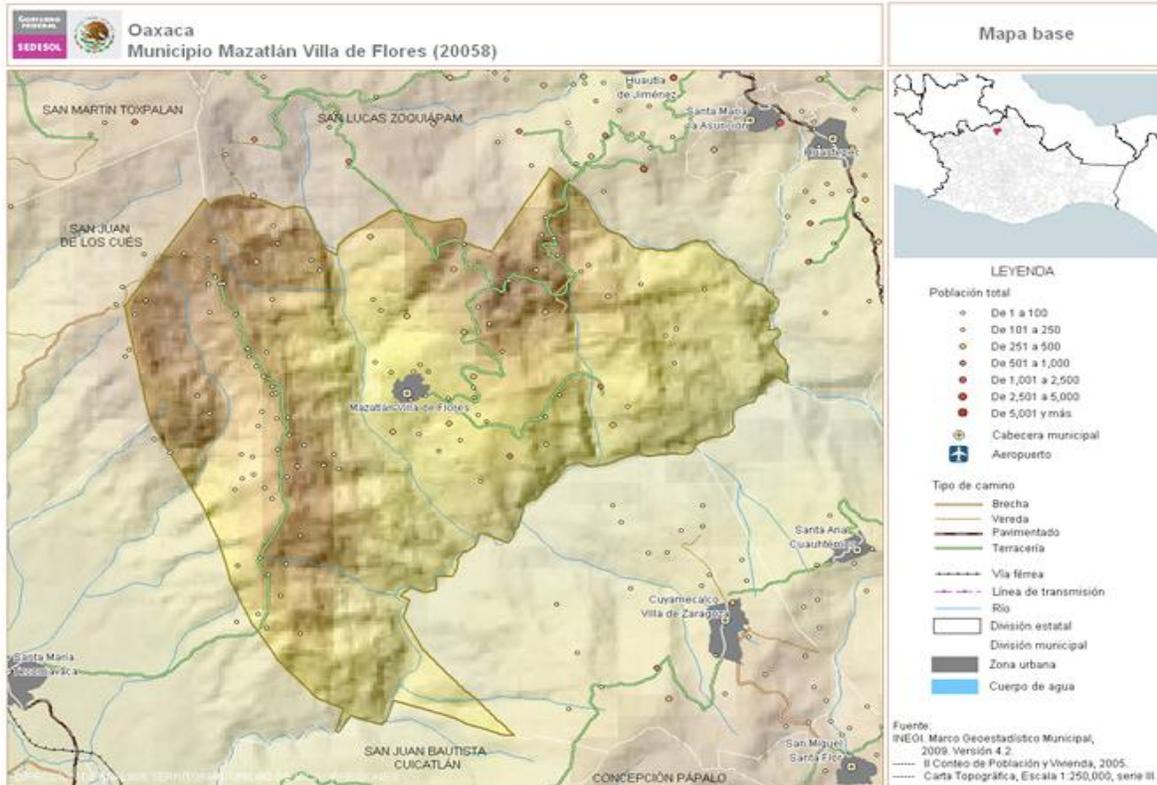


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Geográficamente se encuentra comprendido entre 18°01' de latitud norte y los 96°55' de longitud oeste, con una altitud de 1 595.91 m (INEGI, 2011). Se ubica a 198 kilómetros al noroeste de la capital del estado.

### Extensión

La superficie total del municipio es de 137.79 Km<sup>2</sup>, representa el 0.145% del Estado.

### Principales localidades

Mazatlán Villa de Flores, Cruz de Plata, La Toma, Nogaltepec, Pochotepec, San Simón Coyoltepec, Agua Duende, Cacalotepec, El Manzano, La Igualeja, San Pedro, Santiago Mirador, Soyaltitla, San Vicente, Agua Mosquito, Loma Grande, Aguacatitla y Loma Celosa.

### Características del suelo

El suelo del municipio está constituido por el Luvisol órtico, el cual contiene gran enriquecimiento de arcilla en el subsuelo; frecuentemente presenta colores rojos o claros y en algunas zonas pardas o grises. El suelo dominante es el Luvisol con un 51.20%, Regosol con 47.41%, Fluvisol con 1.32% y Cambisol con 0.07%.

## Uso de suelo

Tal como se muestra en la Figura 2 el uso de suelo es: agricultura de temporal (64.52%), Bosque de encino (16.45%), Selva caducifolia (9.13%), Bosque mesófilo de montaña (8.77%) de la superficie municipal (INEGI, 2004).

## Orografía

Su ubicación geográfica que es una zona netamente montañosa, dan origen a una gran variedad de montes, peñas y cerros; de estos últimos se cuenta con varios que a continuación mencionaremos: El cerro quemado, el cerro de Agua de Cerro, el cerro Pelón, el cerro Pedro Boluda, el cerro Peña Blanca, el cerro del Águila, el cerro Platanillo, el cerro Malangares; también se identifica a una cordillera de cerros ubicada en los terrenos del municipio conocida con la generalidad del cerro Pochotepec, así como el cerro Loma Celosa.

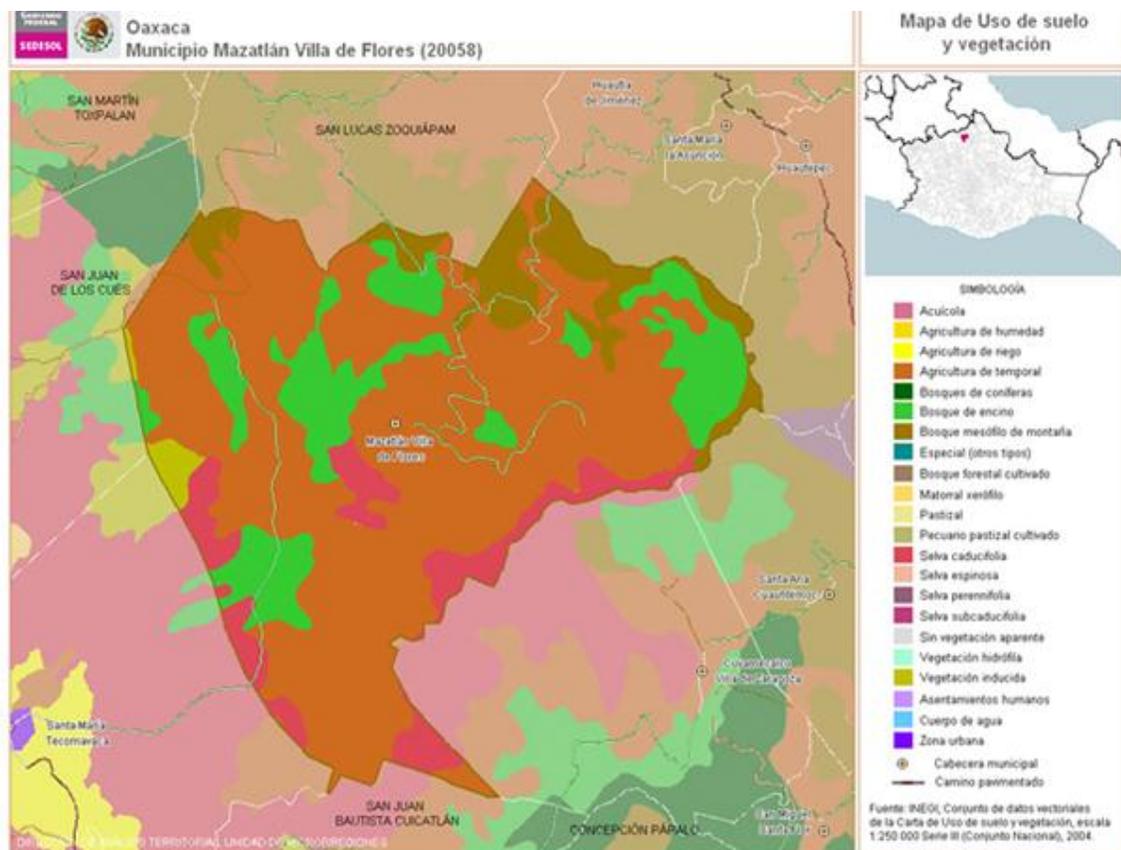


Figura 2. Uso de suelo de Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca.

## Hidrografía

Entre los ríos más importantes se puede destacar el río Chico, también denominado río Verde; el río Grande el cual baja de Cuicatlán llegando hasta el cerro campana en donde forma una laguna que se llama Igualeja; y el río Frío (que es una cueva donde nace el agua). En loma celosa que se ubica a 30 Km aproximadamente de la población se encuentra una cascada que se llama Agua Tehuacán.

### **Clima**

El clima predominante es frío en las partes altas del municipio; en las partes bajas se siente más calor, lo que provoca un clima templado. Las lluvias fuertes comienzan en junio hasta octubre (EMyDM, 2013). El rango de temperatura es de los 14 a 26°C, la precipitación va de los 700 a 2 500 mm (INEGI, 2013).

## **V.1.2 Medio biótico**

### **Vegetación**

Hay gran variedad de vegetación, sobre todo de árboles maderables que provoca la tala inmoderada; entre estos podemos encontrar: encinos, ocotes, cuiles, cuajinicuiles, álamos, ceibas y pinos.

El Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) se desarrolla en regiones de relieve accidentado y las laderas de pendiente pronunciada constituyen su hábitat más frecuente. Los suelos son desde someros hasta profundos, amarillos, rojos o negruzcos, con abundancia de materia orgánica en los horizontes superiores; son ácidos (pH 4 a 6), de textura arenosa a arcillosa y húmedos durante todo el año.

Muchos de los árboles del BMM (*Quercus*, *Juglans*, *Dalbergia*, *Podocarpus*, *Liquidambar*, etc.) tienen madera de buena calidad que se emplea localmente para fines diversos, pero prácticamente no existen explotaciones forestales en forma y con los desmontes y las quemadas se desperdician grandes volúmenes de madera.

Los elementos que describen al BMM son árboles, a menudo dominantes, pero también hay algunas plantas vasculares herbáceas, así como briofitas y hongos.

Con frecuencia la comunidad incluye tanto árboles perennifolios como de hoja decidua y aunque en muchas regiones predominan los últimos, lo común es que el bosque clímax nunca se vea completamente defoliado. Por lo común existen varios estratos arbóreos, además de uno o dos arbustivos. El herbáceo no tiene gran desarrollo en BMM bien conservados, pero en los claros suele ser exuberantes, diversificado y contiene muchas pteridofitas. Las trepadoras leñosas suelen ser más o menos abundantes, sobre todo a altitudes inferiores o bien en cañadas protegidas; entre los géneros más frecuentes con especies pertenecientes a esta forma biológica cabe mencionar: *Archibaccharis*, *Celastrus*, *Clematis*, *Gelsemium*, *Parthenocissus*, *Philadelphus*, *Rhus*, *Smilax*, *Vitis*.

Las epífitas por lo general están muy bien representadas y forman sinusias variadas, en las cuales abundan tanto líquenes, musgos y pteridofitas, como también fanerógamas, principalmente de las familias *Piperaceae*, *Bromeliaceae* y *Orchidaceae*, incluyendo asimismo arbustos y árboles, como especies de *Oreopanax*, *Topobea*, *Fuchsia*, *Clusia*, *Juanulloa*, *Solandra*, de varios géneros de *Ericaceae*, *Compositae*, etc. Los hemiparásitos de los géneros *Phoradendron* y *Struthanthus* pueden llegar a ser abundantes, principalmente en condiciones de disturbio. Entre las gimnospermas están representados *Pinus*, *Podocarpus*, y *Abies* (Rzedowski, 1994).

El Municipio de Mazatlán Villa de Flores se encuentra dentro de la Región Terrestre Prioritaria de México (RTP) 130 Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe su delimitación consideró la integración de todo el macizo montañoso del este de Oaxaca. El límite comienza al norte en el pie de la Sierra de Juárez y desciende hacia el sur, toma la cuenca del río Tehuantepec hasta el límite cercano a la presa Benito Juárez; hacia la parte occidental colinda con el límite de la RTP Tehuacán-Cuicatlán y al oeste por líneas de parteaguas.

### **Aspectos bióticos**

Destacan las selvas altas, medianas y bajas, caducifolias y cálido-húmedas; los bosques mesófilos, de pino y de pino-encino; y sabanas, entre otros ecosistemas. Los principales tipos de vegetación y uso del suelo representados en esta región, así como su porcentaje de superficie son:

Bosque de Pino.- Bosques predominantes de Pino. A pesar de distribuirse en zonas templadas, son característicos de zonas frías, 29%.

Selva alta perennifolia.- Comunidad vegetal en donde el dosel arbóreo sobrepasa los 30 m de altura y donde más del 75% de las especies conservan las hojas todo el año, 22%.

Bosque Mesófilo de montaña.- Bosque con vegetación densa, muy húmedos, de clima templado. Solo se presenta en laderas superiores a los 800m, 20%.

Selva Baja Caducifolia.- Comunidad vegetal de 4 a 15 m de altura en donde más del 75% de las especies pierden las hojas durante la época de secas, 13%.

Agricultura, pecuario y forestal.- Actividad que hace uso de los recursos forestales y ganaderos, puede ser permanente o de temporal, 10%.

Bosque de encino.- Bosque en donde predomina el encino. Suele estar en climas templados y en altitudes mayores a los 800 m, 6% (CONABIO, 2008).

## **Fauna**

Aves silvestres: Patos, Faisanes, palomas, chachalacas, calandrias, águilas, gavilanes, colibrí, cotorras y loros. Animales salvajes como: Venados, ardillas, mapaches, tlacuaches, armadillos, zorras, coyotes y monos en las partes montañosas. En algunas zonas aún se encuentran jaguares, gatos monteses y pumas.

Insectos: Hay una gran variedad de zancudos y mosquitos, escarabajos, mariposas, grillos y chapulines, abejas y diferentes clases de hormigas.

Peces: La lisa, mojarra y truchas, son las principales.

Reptiles: Lagartijas, diferentes clases de víboras y culebras, así como iguanas.

Animales domésticos: Gatos, perros, ganado caprino, bovino, vacuno, porcino y aves de corral.

### **V.1.3 Caracterización del ayuntamiento**

El municipio se rige a través del sistema de usos y costumbres y la autoridad municipal se constituye por los siguientes integrantes:

- Presidente Municipal
- Síndico Municipal
- Regidor de Hacienda
- Regidor de Educación
  
- Regidor de Ecología
- Regidor de Salud
- Regidor de Obras Públicas

Cada uno de ellos con sus respectivos suplentes.

También se cuenta con tesorero municipal, secretario municipal, secretaria del registro civil, secretario técnico y abogado o asesor jurídico.

Se cuenta con un comité de obra que se realiza, además existen representantes que integran al comité de festejos, el de padres de familia, el de agua potable, el de la iglesia; cada barrio de la cabecera municipal cuenta con sus representantes municipales (EMyDM, Edo. Oaxaca, 2005).

### **Reglamentación municipal**

No se cuenta con reglamentos internos municipales, pero se rigen por la Ley Orgánica municipal (EMyDM, Edo. Oaxaca, 2005).

### **V.1.4 Aspectos socioeconómicos**

Mazatlán Villa de Flores se encuentra dentro del distrito Teotitlán en la región de la Cañada, la cual representa la séptima concentración de población en el estado y

constituye 5.3% de su población total. La región cuenta con un total poblacional de 200,140 habitantes, de ellos, 96,315 (48.1%) son hombres y 103,825 (51.9%) son mujeres, lo que implica que por cada diez mujeres hay prácticamente nueve hombres; en este sentido, la diferencia en número que prevalece entre hombres y mujeres suele asociarse principalmente con la migración (INEGI; 2010).

Existe en la región una disminución drástica de la población a partir de los 20 años, probablemente debido a los movimientos migratorios (intra estatales, nacionales e internacionales). La Cañada ocupa el séptimo lugar en el estado por número de habitantes 200,140 personas, según el Censo de Población y Vivienda 2010. La dispersión lleva a los pobladores de esas comunidades a utilizar su entorno como un sostén de vida, generando una presión sobre los recursos naturales (agua, suelos y bosques), asimismo mayores costos para los servicios de abastecimiento de agua, drenaje, tratamiento de agua residual, recolección de basura, etcétera (INEGI, 2010).

## **VI. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Mazatlán Villa de Flores se encuentra dentro de la Región Terrestre Prioritaria de México (RTP) 130 Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe (INEGI, 2013), es un municipio que por las características de su ubicación y las grandes extensiones que albergan recursos forestales en bosque de pino, bosque mesófilo de montaña, selva alta perennifolia, selva baja caducifolia y bosque de encino, tiene un vasto capital de flora y fauna y rasgos de endemismos, que proporcionan importantes servicios ambientales. Sin embargo, la vegetación original ha sido desmontada en grandes extensiones de terreno cuya vocación forestal está cambiando aceleradamente por uso agrícola y frutícola que ha dado por resultado un mosaico de comunidades secundarias de diferentes grados de conservación y deterioro. La zona de estudio pertenece a la subregión Huautla-Zongolica (CONABIO, 2010), la cuál es la más afectada por procesos de degradación. El agudo deterioro se refleja en una deforestación muy extendida, se identifican factores de riesgo que ha impactado diversos servicios ambientales en el macizo forestal de la zona; El cambio de uso

de suelo sigue avanzando, por lo que esta subregión cada vez mitiga menos los impactos del cambio climático sobre los bosques y selva, impactos que no solo repercuten sobre las especies de plantas y animales, sino también en el hombre. Es por ello que resulta imprescindible la valoración de los ecosistemas (bosque de encino, bosque de pino, bosque de encino/pino, cultivo de frutales, cultivo agrícola y suelos erosionados) los servicios ambientales que éstos prestan, esta valoración puede permitir que los habitantes de las comunidades mejoren su calidad de vida y conserven su riqueza natural y cultural.

De acuerdo a IPCC (2006), los ecosistemas boscosos almacenan gran parte del carbono en el suelo y su disponibilidad se ve altamente influenciada por la biomasa aérea y por factores como la densidad, la textura, así como por los procesos de lixiviación, erosión o mineralización del suelo. Asimismo, Orlov (1992, citado por Santander, 2004), afirma que el mantillo y el suelo a través de los ácidos húmicos y fúlvicos son los componentes del sistema forestal que contienen mayor cantidad de carbono; por lo cual en el presente trabajo se pretende estimar el almacenamiento de carbono en masa forestal, mantillo, capa de fermentación y suelo, para obtener la línea base y determinar cuál es el principal sumidero en el Bosque Mesófilo de Montaña.

## **VII. HIPÓTESIS**

Al estimar el almacenamiento de carbono en masa forestal, mantillo, capa de fermentación y suelo (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos), en sitios con diferente uso de suelo y estado de conservación; a través de mediciones directas en cada compartimiento, se conocerá cuál es el principal sumidero de carbono, para tomar decisiones en el manejo, protección y conservación del bosque mesófilo de montaña.

## **VIII. OBJETIVOS**

Determinar el principal sumidero de carbono, a partir de la estimación del contenido almacenado en masa forestal, mantillo, capa de fermentación y suelo; en sitios con bosque conservado, degradado y en suelo de cultivo agrícola.

### **VIII.1 Objetivos específicos**

- Delimitar y caracterizar las zonas de estudio con los atributos uso de suelo y grado de conservación, apoyados en diferentes mapas satelitales y topográficos, GPS, además de la descripción fisiográfica de la zona de estudio.
- Estimar la cantidad de carbono orgánico total almacenado en macizo forestal, mantillo, capa de fermentación y suelo.
- Determinar en suelo, textura, densidad aparente, materia orgánica, fósforo y nitrógeno y ácidos húmicos y fúlvicos y su relación con el almacenamiento de carbono orgánico total.
- Obtener las fracciones de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos y mediante espectroscopia de IR examinar sus componentes, para conocer los grupos funcionales que componen la materia orgánica contenida en macizo forestal, mantillo, capa de fermentación y suelo.
- Realizar un análisis comparativo e interpretativo entre los IR de las fracciones húmicas de cada sitio de muestreo con diferente uso de suelo y estado de conservación.
- Determinar la línea base de almacenamiento de carbono en los compartimientos del sistema forestal, a partir de modelos alométricos a través del diámetro a la altura del pecho y altura de los sujetos arbóreos y biomasa.

## **IX. MÉTODOS**

### **IX.1 Delimitación del área de estudio**

En esta investigación se estudiaron áreas con diferente vocación del suelo como son: a) Forestal b) Agrícola c) Frutícola.

Para establecer los sitios de estudio se determinó su ubicación tanto en mapas satelitales (Google maps), como mapas topográficos.

Una vez seleccionado cada sitio, se registraron *In situ* coordenadas geográficas mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), relieve, tipo y profundidad del suelo, tipo de vegetación y se realizó la descripción de las condiciones ambientales.

### **IX.1.1 Descripción de los sitios de muestreo**

Sitio 1. Localidad San Isidro. Bosque de Encino (BE), ladera media, suelo Luvisol, clima lluvioso con presencia de neblina en el momento de la toma de muestra, la visibilidad era media, a 17 m del transecto no hay estrato arbóreo. Se colectó una muestra de suelo (S), capa de fermentación (CdF) y mantillo (M) en la sección con presencia de estrato arbóreo y otra muestra (S, CdF y M) en la de sin estrato arbóreo.

Sitio 2. Localidad Mazatlán Villa de Flores. Bosque de encino con Cultivo de Frutales (BE/F), suelo Luvisol y clima húmedo. Se colectaron 2 muestra de S, 2 de CdF y 2 de M, una corresponde a la primera sección del transecto y la otra a la segunda sección.

Sitio 3. Localidad Mazatlán Villa de Flores. Bosque de Pino (BP), suelo Luvisol, clima templado, a 16 m del transecto ya no había vegetación, a los 26 m se observaron plantas de café, y al suroeste se encuentra un asentamiento humano. Para la sección del transecto con estrato arbóreo se colectaron 3 muestras: una de S, una de CdF y una de M. En la sección (16m) sin estrato arbóreo que carecía de capa de fermentación solo se tomó una muestra de S y una de M.

Sitio 4. Localidad La Raya. Bosque de encino/pino (BE/P), clima templado-húmedo y suelo Luvisol. En el transecto se observó que al quitar el mantillo, existían dos diferentes tonalidades de suelo, por lo tanto se colectó una muestra de S, una de CdF y una de M para el suelo de tono más claro. Para el suelo con tonalidad más oscura se colectaron 3 muestras: una de S, una de CdF y una de M.

Sitio 5. Localidad Agua Duende. Vegetación de BE, ladera tendida, suelo Luvisol con rasgos de perturbación. Se colectó una muestra de suelo S, una de CdF y una de M.

Sitio 6. Localidad La Igualeja. Uso de suelo a cultivo agrícola (CA), suelo Luvisol. Se colectó una muestra de S y una de M.

Sitio 7. Localidad Mazatlán Villa de Flores. Cultivo frutícola (CF), suelo Luvisol, clima templado-húmedo. En el transecto se colectaron 2 muestra de S, 2 de CdF y 2 de M. El transecto se caracterizó en dos secciones, una con área conservada y la otra con elementos que indicaban alteración como un camino de paso.

Sitio 8. Localidad Trapiche. Suelo Erosionado (SE), suelo Cambisol, ladera media, uso de suelo forestal, arbóreo caducifolio, elementos de selva baja muy alterado, suelo somero. Se colectó una muestra de S.

Sitio 9. Localidad Trapiche. A 500 m del sitio anterior, SE, suelo Cambisol, ladera media, uso de suelo forestal arbóreo caducifolio, elementos de selva baja muy alterado y suelo somero. Se colectó una muestra de S.

Sitio 10. Localidad Río Chiquito, CF, suelo Fluvisol, clima húmedo, se encuentra a un lado de un río. Se colectó una muestra de S, una de CdF y una de M.

NOTA: en los sitios con dos muestras de cada compartimiento, se tomó como resultado el promedio de los datos obtenidos de cada compartimiento por sitio.



*Figura 3. Sitio 1 Bosque de encino.*



*Figura 4. Sitio 2 Bosque de encino con frutales.*



*Figura 5. Sitio 3 Bosque de encino.*



*Figura 6. Sitio 4 Bosque de encino/pino.*



*Figura 7. Sitio 5 bosque de encino..*



*Figura 8. Sitio 6 cultivo agrícola.*

Sitios de muestreo 1 a 6



*Figura 9. Punto 7 Cultivo frutal.*



*Figura 10. Sitio 8 suelo erosionado.*



*Figura 11. Punto 9 Bosque de encino.*



*Figura 12. Punto 10 Cultivo frutal.*

Sitios de muestreo 7 a 10

## **IX.2 Toma de muestras del macizo forestal**

Se realizaron transectos de 20 x 30 m, en todo el transecto de 20 x 30 se contaron y marcaron todos los árboles con Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) > 6 cm, se midió DAP y altura (método modificado de Müller, 1974).

En los sitios perturbados la vegetación se expresó a través de la vegetación ruderal.

### IX.3 Colecta de muestras de suelo, capa de fermentación del suelo y mantillo.

Se determinaron cuadrantes de 1m x 1m, para la colecta de muestras de mantillo. En áreas de 25cm x 25cm, se tomaron muestras de capa de fermentación y suelo.

### IX.4 Trabajo en laboratorio

Todas las muestras se secaron a temperatura ambiente por dos semanas, las de suelo se tamizaron a través de una malla de 2mm; y las de capa de fermentación y mantillo se pulverizaron y tamizaron a través de una malla de 2mm.

El análisis del suelo consistió en la cuantificación de los parámetros y métodos que se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros determinados y métodos empleados.

PARÁMETRO	MÉTODO
Materia orgánica	Walkley y Black e Incineración
Nitrógeno	Semimicro-Kjendahl
Fósforo extractable	Bray y Kurtz modificado
Ácidos Húmicos y Fúlvicos	Celi <i>et al.</i> 1997

Para determinar la cantidad de C almacenado en suelo se empleó la siguiente ecuación (González *et al.*, 2008):

$$COS = Pm * Dap * \%C$$

Donde:

COS= carbono almacenado en t ha<sup>-1</sup>

Pm= profundidad de la muestra (cm)

Dap= densidad aparente en g cm<sup>-3</sup>

%C= porcentaje de carbono en cada muestra

### IX.5 Línea Base del Carbono

La línea base es el acervo y flujo de carbono dentro de cada sitio de muestreo alterado o conservado. Se tomaron en cuenta algunos modelos ya determinados por otros autores, modelos que sirvieran de apoyo para construir la línea base que permita conocer la cantidad de carbono que se espera capturar y cuanto se tiene almacenado en los sitios conservados y en los alterados.

Lo anterior se llevó a cabo con modelos alométricos a partir de diferentes variables dendrométricas, tales como el DAP y la altura de cada árbol; sustitución de variables en ecuaciones correlacionales para determinar el contenido y la captura de carbono por cobertura vegetal (Yáñez y Vargas, 2004).

La ecuación es la siguiente:

$$Y = bX^k$$

Donde:

*Y* = biomasa aérea (Kg)

*X* = DAP

*b* y *k* = son los parámetros estadísticos estimados por mínimos cuadrados.

## X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestrearon 10 sitios con diferente tipo de vegetación, los cuales se muestran en Cuadro 2:

*Cuadro 2. Puntos de muestreo de suelo, capa de fermentación, mantillo y masa forestal del municipio de Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca.*

Sitio	Tipo de vegetación
1	Bosque de encino (BE)
2	Cultivo de frutales (CF)
3	Bosque de pino (BP)
4	Bosque de encino/pino (BE/P)
5	Bosque de encino (BE)
6	Cultivo agrícola (CA)
7	Cultivo de frutales (CF)
8 y 9	Suelo erosionado (SE)
10	Cultivo de frutales (CF)

La ubicación de los sitios de muestreo se aprecia en la Figura 13:

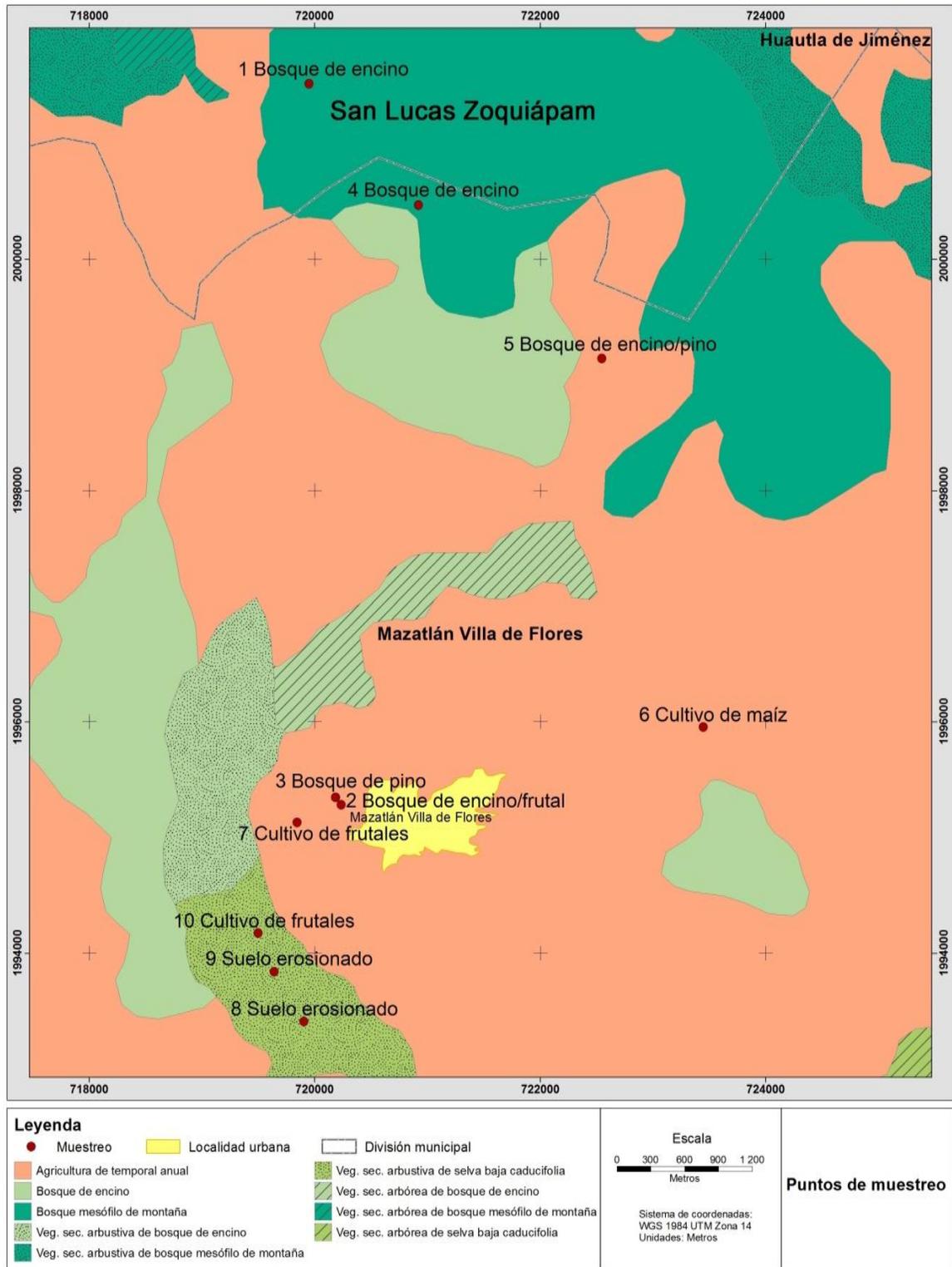


Figura 13. Uso de suelo y vegetación de Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca, de acuerdo con INEGI, donde se observa la ubicación de los puntos de muestreo

## X.1 Materia Orgánica

De acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 los porcentajes de MO obtenidos en capa de fermentación y mantillo son muy altos, ya que son  $> 16.1\%$ , en tanto que para suelo son bajos, se encuentran entre  $4.1 - 6.0 \%$ . En la Figura 14 se observa que los resultados en suelo son los más bajos, entre  $1.332$  a  $21.048\%$ , la muestra del sitio 9 (9.SE) registró el valor más bajo y la del sitio 1 (1.BE) el más alto. En el caso de capa de fermentación (CdF), Figura 15, los valores obtenidos son de  $33.21$  a  $68.63\%$ , siendo la muestra del sitio 5 (5. BE) el de menor valor registrado y la del sitio 3 (3. BP) el mayor valor; los valores de MO en mantillo (M), Figura 16, van de  $59.475$  a  $87.45\%$ , siendo la muestra del sitio 2 (2. BE/F) la de menor porcentaje de MO y la muestra del sitio 5 (5.BE) registró el mayor porcentaje de MO; como se observa los contenidos disminuyen de acuerdo al grado de descomposición del compartimiento, el mantillo presenta los datos más altos, debido a que en este se encuentra la biomasa de mayor tamaño como es la hojarasca, ramas y madera y en la capa de fermentación se encuentra la materia orgánica en proceso de descomposición para formar humus.

Los datos obtenidos de carbono orgánico (CO), fueron clasificados de acuerdo a London (1984); en suelo van de  $0.7729$  a  $12.2088\%$ , Figura 17, clasificados de muy bajos a altos, respectivamente. La muestra del sitio 1 (1.BE) en suelo de uso forestal registró el valor más alto y el sitio 9 (9.SE) el más bajo; en capa de fermentación, Figura 18, los resultados son de  $19.2633$  a  $39.2633 \%$  siendo el sitio 4 (4. BE/P) el más alto y el sitio (5.BE/P) el más bajo; y en el caso de mantillo, Figura 19, los valores son de  $34.4982$  a  $50.7251\%$ , clasificados como muy altos. La muestra del sitio 5 (5.BE), registró el contenido más alto y el sitio 2 (2.BE/F) el más bajo de CO, cabe señalar que el uso de suelo de los sitios que registraron mayor contenido de CO en las diversas capas de muestreo es forestal, es una indicación útil del grado de acumulación de la materia orgánica bajo diferentes condiciones ambientales (Boul, 1991), así como su grado de conservación.

El contenido de CO también está relacionado con el uso de suelo y el tipo de vegetación que se presenta en los sitios, como se observa en la Figura 20, el uso

de suelo con mayor cantidad de CO es el forestal (bosque de encino del Sitio 1), esto debido a que las raíces de los árboles son de larga vida y a los residuos que se llegan a incorporar al suelo como las hojas, ramas y cáscaras de madera que caen a la superficie, a diferencia del Sitio 6 de uso agrícola, el cual tiene pérdidas rápidas de MO al comienzo de la labranza y después la reducción disminuye hasta que al final se alcanza un nivel nuevo de equilibrio (Foth y Turk, 1980). En el caso del suelo erosionado no hay aporte de materia orgánica debido a que no hay vegetación a los alrededores de donde se tomó la muestra.

De acuerdo a Blume *et al.*, 2016, el 80% de las reservas del carbono orgánico terrestre (suelo) participan en el ciclo del carbono y 20% de la vegetación, esto es porque el carbono se regresa a la atmósfera a través de la respiración del suelo debido a el proceso de oxidación microbiana. Después de un tiempo la fracción restante se queda almacenada en la materia orgánica del suelo, la mineralización de los residuos de la vegetación es una fuente de nutrientes para la vegetación y la biomasa microbiana. La materia orgánica del suelo es una fuente de C y energía para la microflora y fauna del suelo.

A demás de la biomasa aérea producida por las plantas durante la fotosíntesis y que cae al suelo como mantillo cuando mueren, los materiales originales del suelo para la formación de la materia orgánica incluye raíces muertas, exudados y residuos de raíces orgánicas, así como fauna y microorganismos muertos

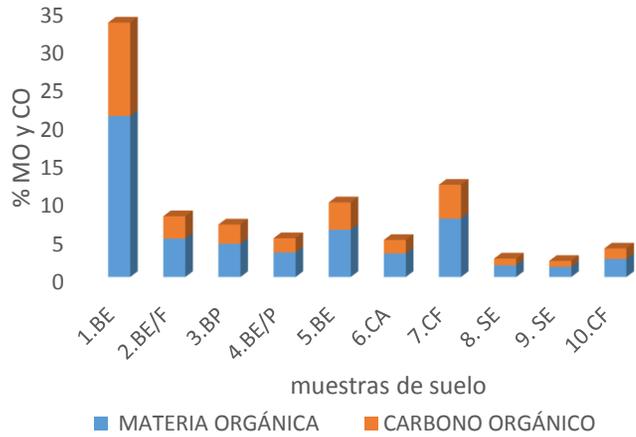


Figura 14. MO y CO en S de los 10 sitios de muestreo.

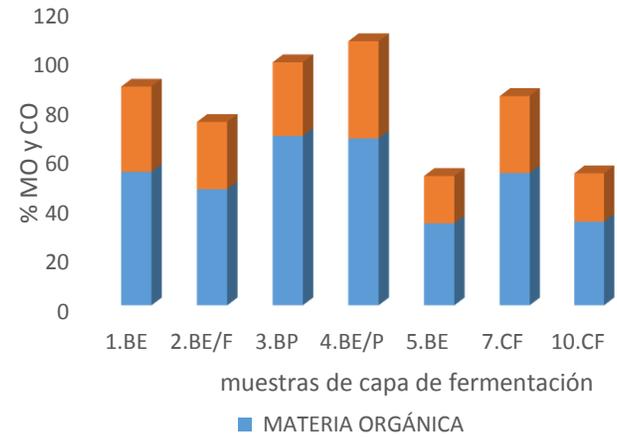


Figura 15. Mo y CO en CdF de 7 sitios de muestreo.

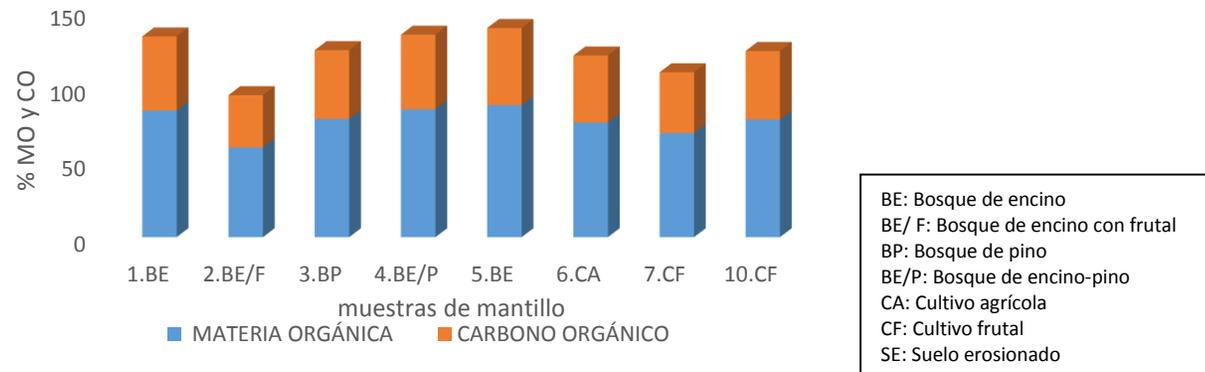


Figura 16. MO y CO en M de 8 sitios de muestreo.

BE: Bosque de encino  
 BE/ F: Bosque de encino con frutal  
 BP: Bosque de pino  
 BE/P: Bosque de encino-pino  
 CA: Cultivo agrícola  
 CF: Cultivo frutal  
 SE: Suelo erosionado

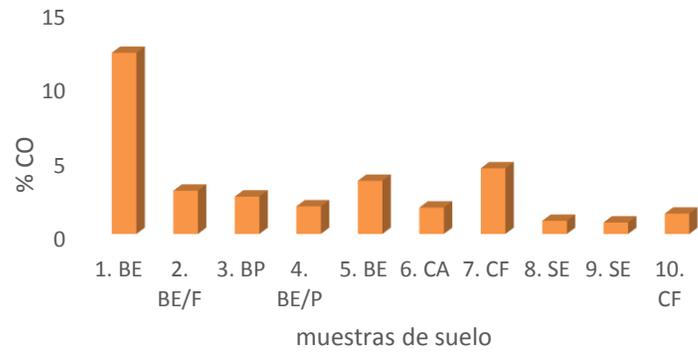


Figura 17. CO en S de los 10 sitios de muestreo.

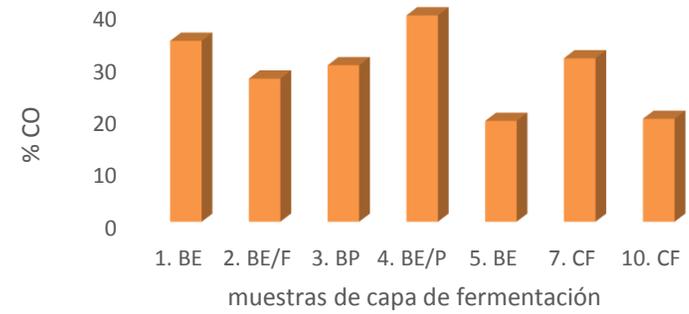


Figura 18. CO en CdF de 7 sitios de muestreo.



Figura 19. CO en M de 8 sitios de muestreo.

BE: Bosque de encino
BE/ F: Bosque de encino con frutal
BP: Bosque de pino
BE/P: Bosque de encino-pino
CA: Cultivo agrícola
CF: Cultivo frutal
SE: Suelo erosionado

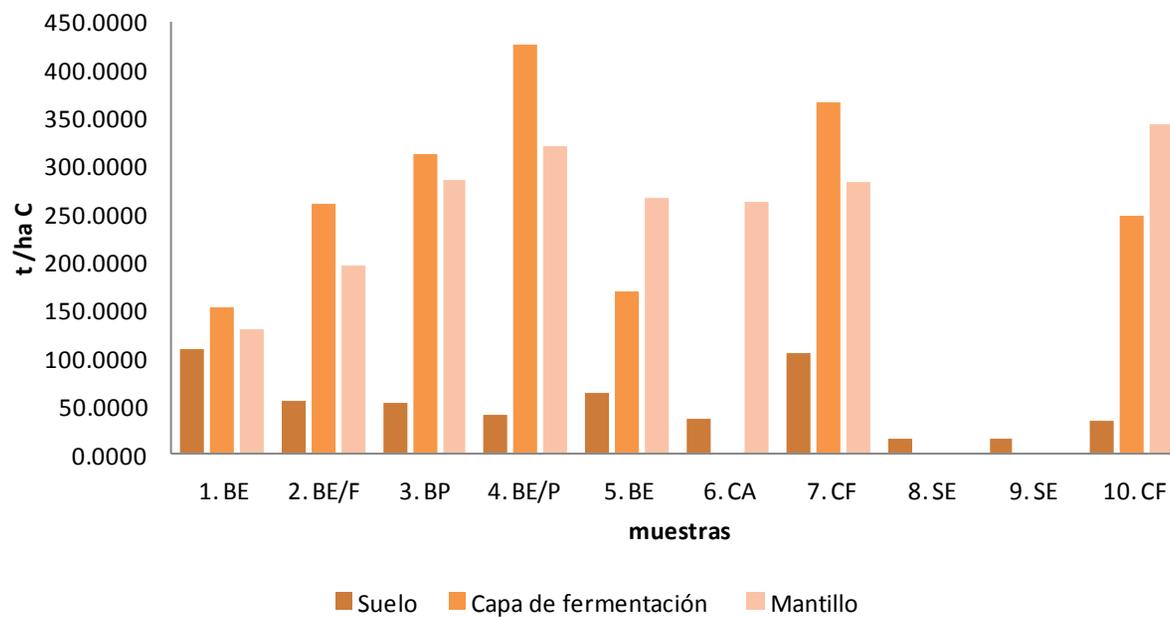


Figura 20. CO en S, CdF y M de los diez sitios de muestreo.

BE: Bosque de encino  
 BE/ F: Bosque de encino con frutal  
 BP: Bosque de pino  
 BE/P: Bosque de encino-pino  
 CA: Cultivo agrícola  
 CF: Cultivo frutal  
 SE: Suelo erosionado

El C almacenado es más alto en capa de fermentación, debido a la cantidad de biomasa encontrada en este compartimiento.

En suelo el contenido de C es de 14.4191 a 108.5118 t ha<sup>-1</sup>, siendo el sitio 8 (8. SE) el de menor contenido y el sitio 1 (1. BE) el de mayor contenido, en capa de fermentación los datos van de 153.0609 a 426.8319 t ha<sup>-1</sup> siendo el sitio 1 (1.BE) el de menor valor y el sitio 4 (4.1 BE/P) el de mayor valor; en mantillo se registró de 108.1614 a 285.7114 t ha<sup>-1</sup>, el sitio 1 (1.BE) presenta el menor contenido y el sitio 10 (10.CF) con el mayor contenido. Como se puede observar en la figura 15 los valores más altos en suelo se registran en el área forestal a excepción del sitio 7. (7.1 CF), esto debido a la composición arbustiva y grado de descomposición. En el caso de capa de fermentación los valores altos y bajos se presentan en el suelo con uso forestal, encontrándose en puntos intermedios los cultivos frutales. En mantillo los valores bajos y altos se encuentran en el suelo con uso forestal a excepción del valor obtenido en el cultivo frutal del sitio 10, esto lo atribuimos a que el sitio se encuentra cerca de un río, por lo cual, tiene más humedad.

## X.1 Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un nutrimento esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de los compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleídos, así como de las paredes celulares y clorofila en los vegetales (Perdomo y Barbazán, 1999).

En la zona de estudio encontramos que en el 73.33% de los suelos de los sitios muestreados, el contenido de N es muy bajo, en el 20% va bajo a alto y en un solo sitio (6.66%) el contenido es muy alto, esto de acuerdo a la clasificación que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los resultados obtenidos en suelo, Figura 21, van de 0 a 0.2026%, por lo que la muestra del sitio 9 (9. SE) registro el valor más bajo y la muestra del sitio 2 (2. BE/F) el más alto. En capa de fermentación, Figura 22; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se registraron valores de 0.1381 a 0.5526%, que corresponden a la muestra del sitio 2

(2. BE/F), el cual registró es el más bajo y la muestra del sitio 5 (5. BE) el más alto. Para mantillo, Figura 23, se registraron valores de 0.1381 a 0.5526%, siendo la muestra del sitio 2 (2.BE/F) el más bajo y las muestras del sitio 6 (6. CA) y sitio 10 (10. CF) el más alto. Esto se debe posiblemente al clima y la vegetación, ya que son factores que afectan el contenido total de N en el suelo. El clima que se presenta en la zona de estudio es templado-húmedo de acuerdo a EMyDM, (2013), en este influye la temperatura y humedad, por lo cual, al aumentar la temperatura el contenido de nitrógeno disminuye, debido a que en climas con temperatura baja, la actividad de los microorganismos es escasa y por lo tanto, la velocidad de descomposición de los restos y de la materia orgánica es muy baja. Además, la temperatura mínima para el crecimiento de las plantas es menor que para el crecimiento de los microorganismos (Perdomo y Barbazan, 1999). Por lo tanto, con temperaturas bajas se resiente más la actividad microbiana que la actividad fotosintética de las plantas; y al aumentar la humedad de los suelos, aumenta la velocidad de crecimiento vegetal, como ocurre en nuestra zona de estudio (Perdomo y Barbazan, 1999).

El tipo de vegetación también influye, debido a que bajo vegetación de bosque los restos vegetales son depositados en su mayoría en la superficie del suelo y en los suelos desarrollados bajo praderas una proporción importantes de materia vegetal está formada por raíces, de la cuales la mayor parte se encuentra en los primeros centímetros del suelo, que cuando mueren permanecen y son descompuestas dentro de él (Perdomo y Barbazan, 1999), esto se ve reflejado en nuestros sitios de muestreo ya que el Sitio 2 corresponde a cultivo de especies frutales, las cuales no son muy altas y por lo tanto sus raíces no están muy profundas, lo que hace que sean parte de la materia orgánica del suelo más fácilmente.



Figura 21. Nitrógeno (%) en S de los 10 sitios de muestreo.

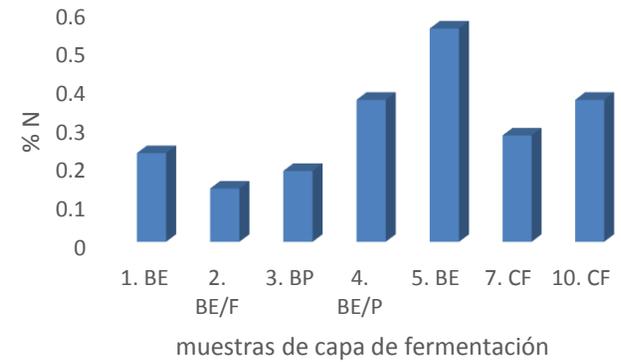
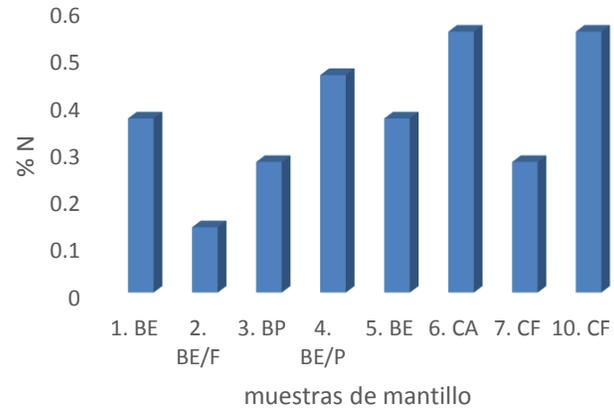


Figura 22. Nitrógeno (%) en CdF de 7 sitios de muestreo.



BE: Bosque de encino  
 BE/ F: Bosque de encino con frutal  
 BP: Bosque de pino  
 BE/P: Bosque de encino-pino  
 CA: Cultivo agrícola  
 CF: Cultivo frutal  
 SE: Suelo erosionado

Figura 23. Nitrógeno (%) en M de 8 sitios de muestreo.

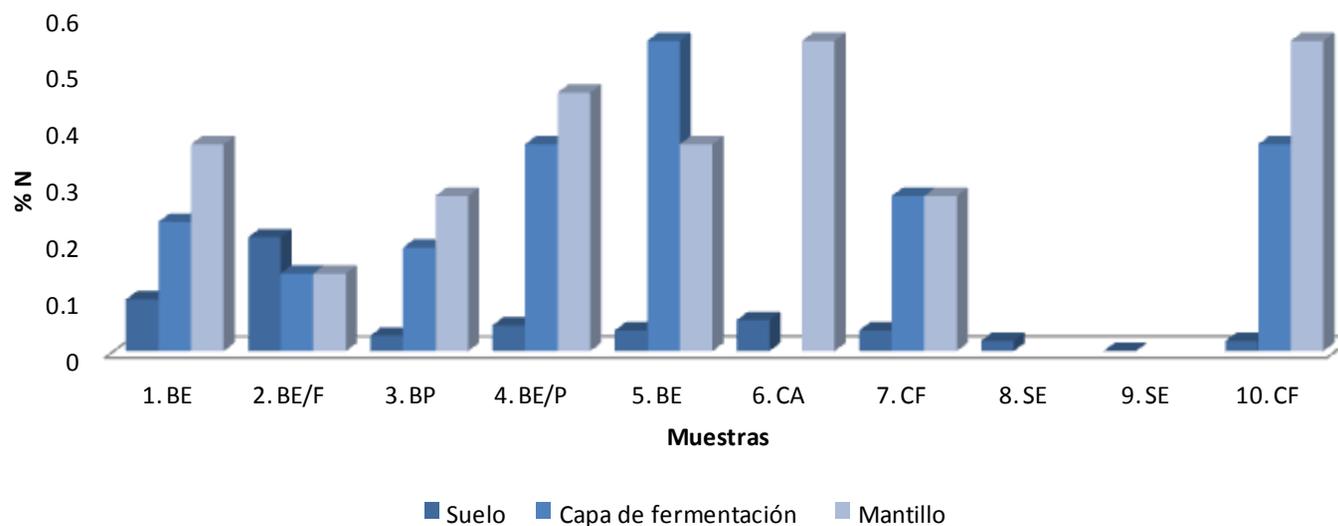


Figura 24. Nitrógeno (%) en S, CdF y M de los 10 sitios de muestreo.

BE: Bosque de encino  
 BE/ F: Bosque de encino con frutal  
 BP: Bosque de pino  
 BE/P: Bosque de encino-pino  
 CA: Cultivo agrícola  
 CF: Cultivo frutal  
 SE: Suelo erosionado

## **X.2 Relación C/N**

El balance neto del N contenido en el humus es siempre hacia una mineralización neta, o sea una liberación de N mineral al suelo. Esto sería previsible, considerando el alto contenido de N del humus (6%) y su baja relación C/N (cercana a 10/1).

En el ciclo de mineralización e inmovilización (CMI) intervienen tres “pools” o reservorios de N en el suelo:

- N en la biomasa microbiana (N-micro)
- N en restos orgánicos muertos (N-restos)
- N mineral ( $\text{NH}_4^+$ )

Estos pools están conectados entre sí por los procesos de mineralización e inmovilización. En cada “giro” del ciclo, parte del  $\text{NH}_4^+$  es inmovilizado formando nuevo tejido microbiano.

Como consecuencia de este proceso, a medida que este ciclo “gira” el resto vegetal que se está descomponiendo se enriquece cada vez más en N y se empobrece en C, por lo que la relación C/N disminuye hasta que ésta alcanza la relación C/N del tejido microbiano, la cual en promedio es cercano a 10/1. En este punto, se puede considerar que todo el residuo vegetal ha sido descompuesto. Una parte del C y N pasa a formar tejido microbiano y otra parte es mineralizado como  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_4^+$ . Estimándose que la relación óptima de C/N es de aproximadamente 25. Relaciones C/N mayores a 33/1 generalmente van a producir una inmovilización neta de N, relaciones C/N menores a 15/1 van, en cambio, a liberar N mineral al sistema, produciendo una mineralización neta (Perdomo y Barbazán, 1999).

El 66.66% de las muestras de S tienen una relación C/N mayor al 33/1, los cuales producen una mineralización neta de N, el 26.66% son menores al 15/1 y solo el 6.68 %, que corresponde a la muestra 6.1 (BE-sitio 6) está cerca del valor de la producción de inmovilización, con una relación de C/N de 30%.

## **X.1 Fósforo**

El fósforo es un elemento esencial para los procesos de transferencia de energía que son esenciales para la vida y el crecimiento de todas las plantas verdes. El contenido total de fósforo en los suelos puede variar desde no más de 20 a 40 kg por hectárea (Pritchett, 1991). El fósforo soluble es la forma aprovechable para las plantas en forma inmediata, es decir son fosfatos en solución del suelo (polifosfatos). Su concentración es muy débil y fluctúa entre 0,2 y 0,5 mg/L, o sea 200 a 400 g/ha en 30 centímetros de espesor. En suelos muy ricos la concentración puede llegar hasta 1 mg/L (1ppm) y en suelos pobres a 0,1 mg/L (Sanzano, 2013).

Los resultados de fósforo en suelo, Figura 25, que se obtuvieron en el presente estudio son: 2.9675 a 45.1559 mgkg<sup>-1</sup>, la muestra del sitio 9 (9.BE) es la que presentó la concentración más baja y la muestra del sitio 6 (6. CA), registró la concentración más alta. En capa de fermentación, Figura 26, los valores registrados van de 8.7616 a 160.9099 mgkg<sup>-1</sup>; la muestra del sitio 5 (5. BE) registró la menor concentración y la muestra del sitio 7 (7. CF) es la de mayor concentración. Para mantillo, Figura 27, los valores van de 19.1033 a 244.64049 mgKg<sup>-1</sup>, siendo la muestra del sitio 3 (3. BP) la de menor concentración y la muestra del sitio 6 (6. CA) la de mayor concentración. De acuerdo a lo que establece Sanzano, (2013), las concentraciones obtenidas de P en suelo son más altas a lo que se refiere este autor, por lo que probablemente se debe a una de las condiciones climáticas del área de estudio, como es la humedad, que provoca que haya más movimiento de los compuestos fosforados en el suelo y por lo tanto la adsorción por las plantas aumente.

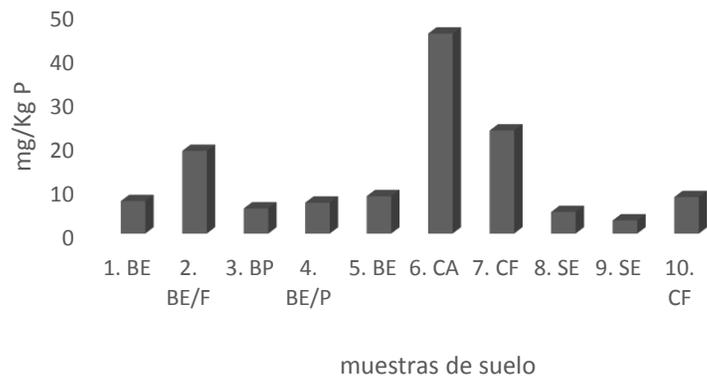


Figura 25. Concentración de P en S de los 10 sitios de muestreo.

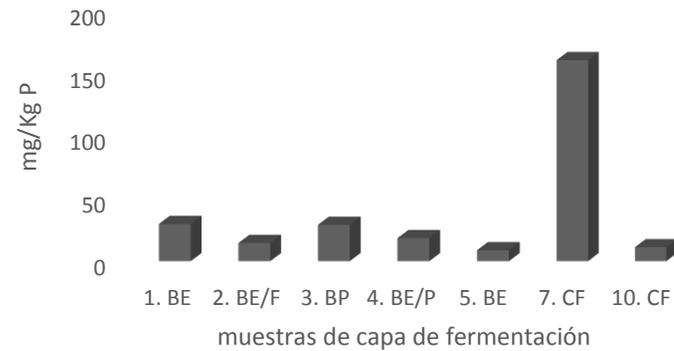


Figura 26. Concentración de P en CdF de 7 sitios de muestreo

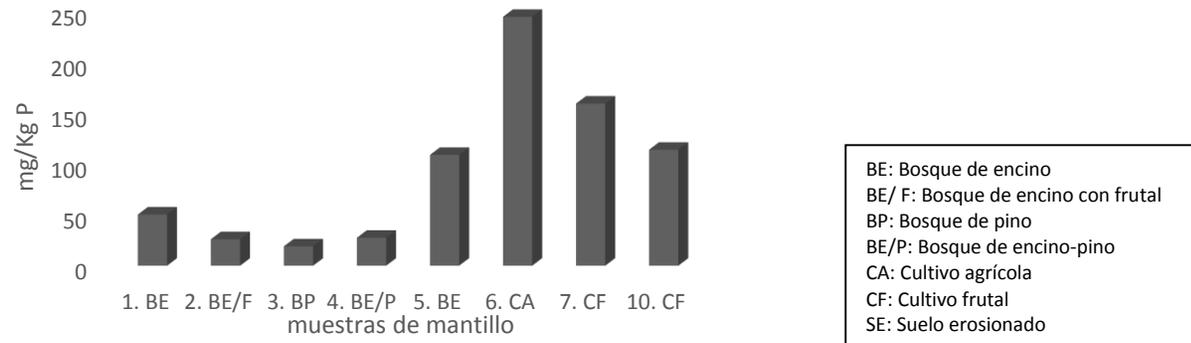


Figura 27. Concentración de P en M de 8 sitios de muestreo.

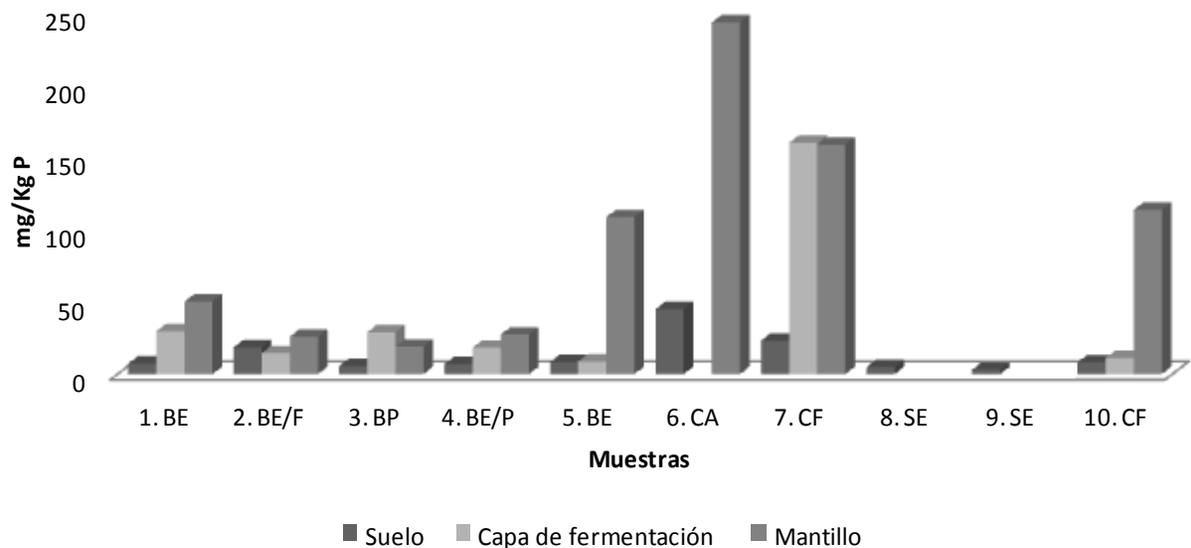


Figura 28. Concentración de P en S, CdF y M de los 10 sitios de muestreo.

BE: Bosque de encino  
 BE/ F: Bosque de encino con frutal  
 BP: Bosque de pino  
 BE/P: Bosque de encino-pino  
 CA: Cultivo agrícola  
 CF: Cultivo frutal  
 SE: Suelo erosionado

## X.1 Biomasa aérea

Los terrenos de la zona de estudio son privados y no se cuenta con los permisos requeridos para poder realizar métodos destructivos en la vegetación y en la biomasa que permita cuantificar directamente la cantidad de carbono; por lo que se estimaron mediante el uso de ecuaciones alométricas que permitieron determinar las variables dependientes a partir de la medición del DAP y la altura total de los árboles. La base de datos se construyó a partir de 151 árboles de encino y pino y 57 árboles frutales, evaluados en 7 de los 10 sitios de muestreo.

Para obtener la biomasa (Y) de cada árbol se consideró la densidad de madera de cada especie (D), determinada a partir del catálogo de maderas de la SEMARNAT (SEMARNAT, 2012). Con los datos obtenidos en campo como: DAP y altura total para cada fuste (H), se procedió a realizar el cálculo del área basal (AB) y la biomasa por individuo, tomando como base la siguiente ecuación que fue desarrollada por el grupo Fundación Solar (2000) citada por (Rezo *et al.* 2012) para biomasa en árboles muertos en pie, vivos y renuevos:

$$Y = AB * H * D$$

Debido a que no se determinó el volumen real del árbol, ya que no contamos con el material necesario para el diámetro a diferentes alturas del árbol y de su ápice, se consideró la forma cilíndrica para el cálculo fuste de cada árbol.

Para la estimar el carbono individual se utilizó el factor promedio 0.5, ya que en muchos estudios se ha empleado un factor que va desde los 0.40 hasta el 0.55, esto debido a que varios autores han encontrado que es la proporción de carbono contenido en cualquier especie vegetal; Callo (2001), Fragoso (2003) y Zamora (2003) utilizaron 0.45, Barranco (2002), Herrero y Lucateros (2003) utilizaron 0.55 Valenzuela (2001) utilizó el 0.5, para determinar el carbono de varias especies. Por lo tanto se tomó el factor promedio 0.5 para lo estimación del carbono orgánico de este estudio y también porque no se llevó a cabo su determinación y no se tiene

inventarios de este valor para las especies frutales, dando como resultados los obtenidos en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Cantidad de biomasa obtenida por especie de acuerdo al volumen y por el Método de mínimos cuadrados (MMC).

Especie	# de árboles	Densidad* (g/cm <sup>3</sup> )	Biomasa por volumen (Ton)	Biomasa por MMC (Ton)
<b>Encino</b>	119	0.65 <sup>(1)</sup>	28.79171	0.76852
<b>Pino</b>	33	0.44	3.93498	0.22035
<b>Zapote negro</b>	35	0.59 <sup>(2)</sup>	30.03332	0.29885
<b>Mango</b>	8	0.62	53.26294	0.13521
<b>Jacaranda</b>	5	0.58	2.02256	0.05248
<b>Café</b>	6	0.91 <sup>(3)</sup>	0.16090	0.01662
		0.4 a		
		0.5 <sup>(4)</sup>		
<b>Aguacate</b>	3	0.60	6.38293	0.04088

\*Determinada a partir del catálogo de maderas de la SEMARNAT (SEMARNAT, 2012).

(1)Ordoñez et al. 2015, Densidad de las maderas, Maderas y bosques

(2)Para zapote negro se utilizó la densidad del mismo género pero de especie diferente.

(3)Ruíz 2007, Revista MyM, Bogotá, Colombia

(4)Segura y Andrade,2012, Revista Luna Azul n. 35, Colombia

Como se puede observar en el cuadro 3, de acuerdo a la estimación por volumen, el mango es la especie estimada con mayor cantidad de biomasa contando solo con 8 ejemplares muestreados, esto se atribuye a que los ejemplares son de grandes dimensiones, presentan un diámetro que va de los 20 cm a 168.7 cm y una altura de 7m a 26 m, seguido por el encino que tiene 119 ejemplares muestreados con diámetro de 7.2cm a 54 cm y altura de 3 m a 14m, algunos de estos ejemplares son de renuevo por lo que el volumen de biomasa se ve afectado.

Con los datos estimados de biomasa, carbono individual y el correspondiente Diámetro Normal de los árboles, se ajustó el modelo matemático expresado en su forma potencial  $Y = bX^k$ .

Los modelos fueron ajustados por mínimos cuadrados con el propósito de obtener los valores de los parámetros  $b$  y  $k$ , que representan la ordenada al origen y la pendiente del modelo de regresión respectivamente.

El DAP de los árboles muestreados varía, para mango de 20 a 168.7 cm, zapote negro de 6.4 cm a 121.3 cm, aguacate de 40 a 75 cm, encino de 7.2 a 54 cm., jacaranda de 20 a 35 cm, pinos es de 6 a 32 cm, y café de 2.5 a 17.

En las figuras siguientes, gráficas siguientes se presenta los resultados obtenidos como la ecuación determinada para la estimación de biomasa y el coeficiente de determinación entre 0.92 y 1.

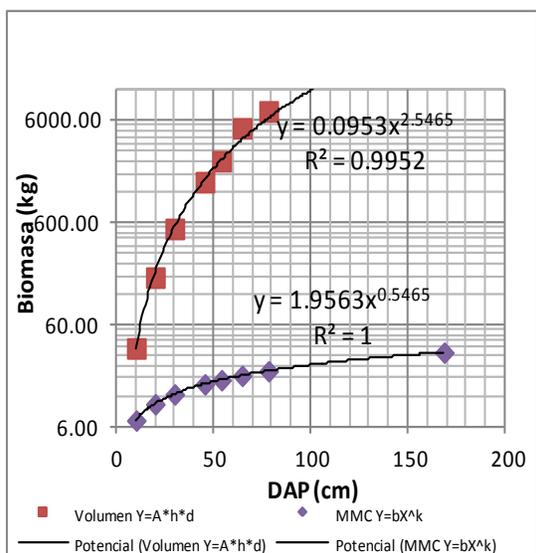


Figura 29. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para mango.

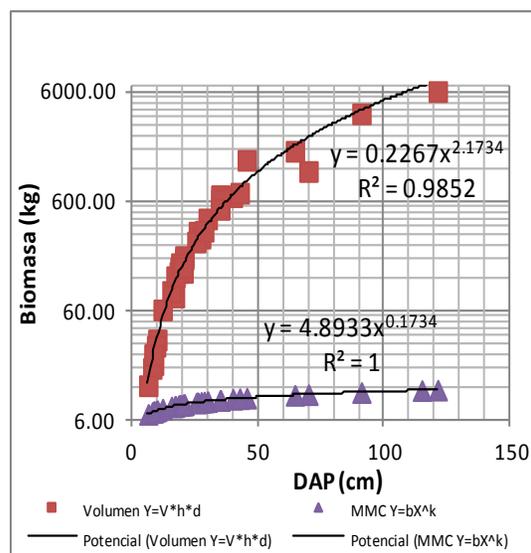


Figura 30. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para zapote negro.

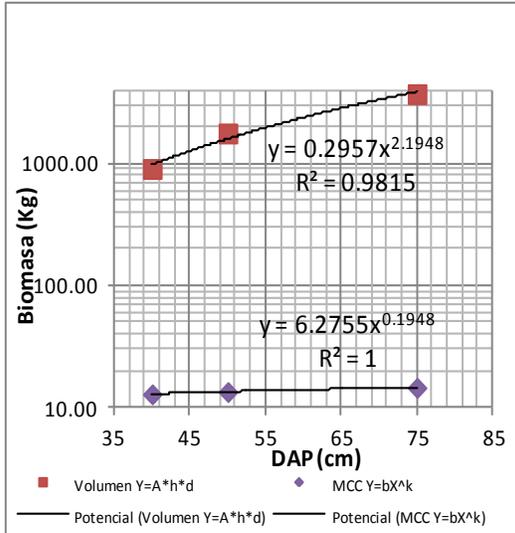


Figura 31. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para aguacate.

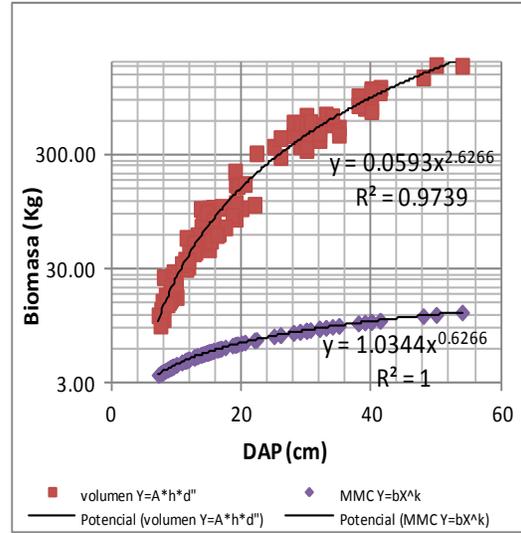


Figura 33. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para encino.

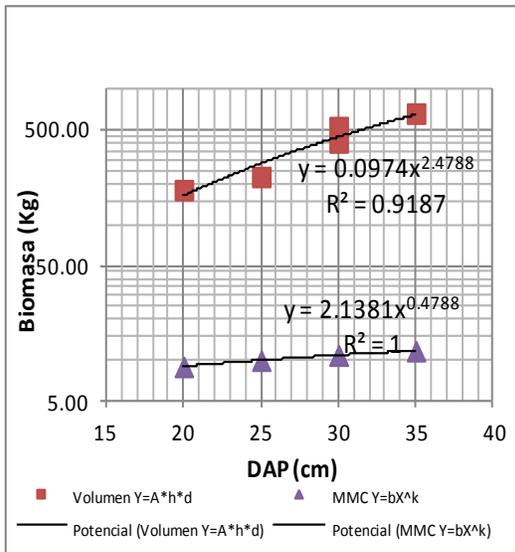


Figura 32. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para jacaranda.

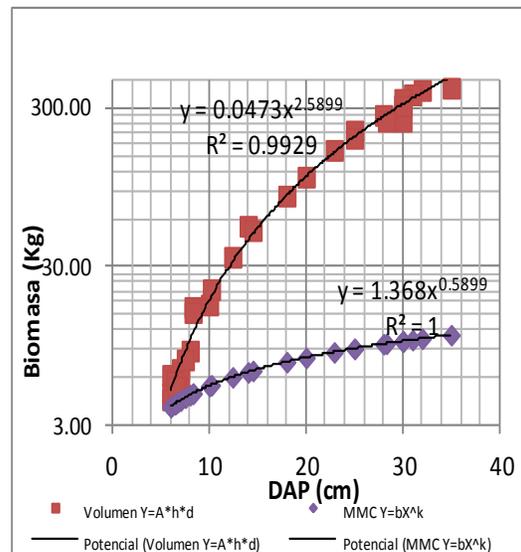


Figura 34. biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para pino.

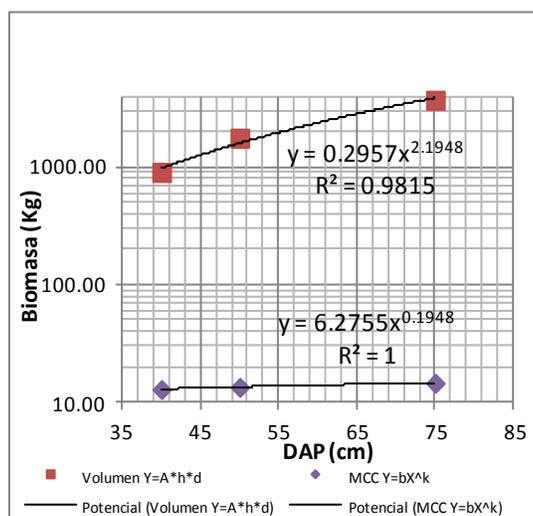


Figura 35. Biomasa estimada por volumen y mínimos cuadrados para café.

La biomasa estimada tanto en los árboles forestales como frutales se realizó con el modelo en su forma potencial, mostrando un buen ajuste con un coeficiente de determinación de  $R^2=1$  en todos los árboles, en las Figuras 14-20 se muestra la tendencia ascendente de la biomasa de acuerdo con el DAP, que, comparándola con la biomasa estimada de acuerdo al volumen de los árboles es igual de ascendente solo que con valores mayores y con un coeficiente de determinación de  $R^2$  de 0.92 a 0.99, mostrando así que ambos modelos pueden generar valores confiables.

Acosta *et al.* (2002) presentaron un  $R^2$  de 0.97 para biomasa aérea en especies forestales nativas del bosque mesófilo de montaña en la Sierra Norte de Oaxaca.

Para la estimación de carbono se multiplico el valor obtenido de biomasa por cada árbol por el factor de 0.5, esto por el supuesto empleado por los autores como Valenzuela (2001) y Díaz *et al.* (2007) de que el 50% de la biomasa es carbono.

El contenido de carbono por sitio se muestra en la figura siguiente:

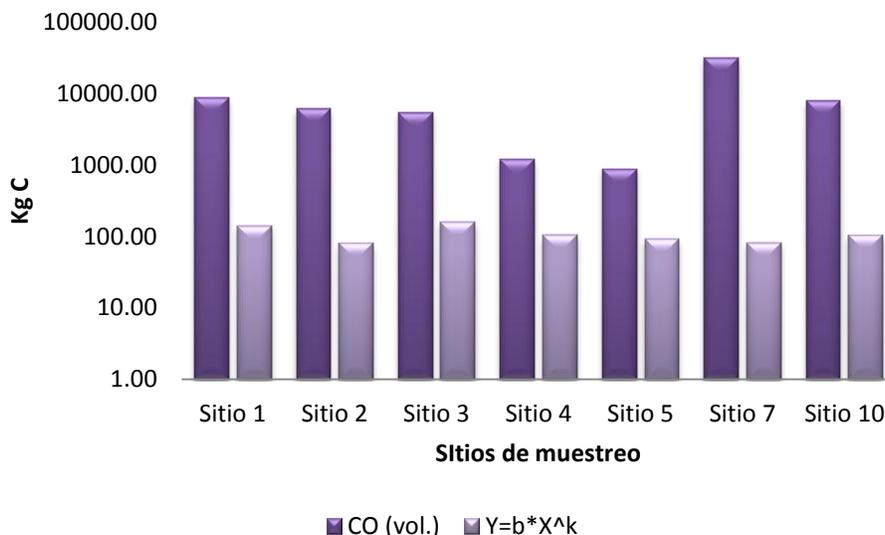


Figura 36. Contenido de carbono estimado por volumen de biomasa y por mínimos cuadrados.

De acuerdo a la Figura 36 el sitio que contiene más carbono de acuerdo a la biomasa estimada por volumen es el sitio 7, registró un contenido de carbono de 311652.5 kg y el sitio 3 con 160.75 Kg de Carbono es el más alto por el método de mínimos cuadrados (MMC). En el caso de la estimación por volumen, el de mayor registro fue el uso suelo para el cultivo de frutales, lo cual se atribuye a que el mango y el zapote negro son de grandes dimensiones ya que en promedio su DAP es de 58.94 cm y 31.76 cm y sus alturas promedio son 17 m y 8.71 m respectivamente. En el caso de MMC el sitio que contiene mayor carbono es el sitio 3 con uso de suelo forestal ya que cuenta con mayor número de árboles.

Además se recurrió a la aplicación de ecuaciones propuestas por la PAOT (2010) en un estudio de cuantificación de carbono almacenado en la vegetación de un suelo conservado en el Distrito Federal, hoy Ciudad de México y por volumen de árboles en pie, de acuerdo con la guía de cubicación de maderas, se obtuvieron los siguientes datos para cada especie:

Cuadro 4. Cantidad de carbono estimado por ecuaciones de PAOT (2010) y volumen de árbol en pie (Rodríguez et al., 2013).

<b>Especie</b>	<b>Carbono (Ton) acuerdo con PAOT</b>	<b>Carbono por volumen de árbol en pie (Rodríguez et al., 2013)</b>
<b>Encino</b>	12.1174	258.38
<b>Pino</b>	16.7	52.2
<b>Zapote negro</b>		296.94
<b>Mango</b>		501.13
<b>Jacaranda</b>		20.34
<b>Café</b>		1.031
<b>Aguacate</b>		62.05

Dado que el trabajo de PAOT no comprende especies frutales no se ocuparon las ecuaciones propuestas, para la estimación de carbono. De acuerdo con el Cuadro 4 se observa que el contenido de carbono es más alto en mango, con 501.13 ton C, seguido del zapote negro y posteriormente el encino, esto debido a que las especies frutales ya tienen varios años de vida y ya se encuentran dando frutos y los individuos forestales son de renuevo, se observa en el sitio que sufrieron algún daño hace algún tiempo.

De acuerdo con los datos obtenidos por PAOT (2010), se estima que un bosque de pino almacena en promedio 46.92 Ton/Ha, la presente investigación registró 16.7 Ton/ha, esto se atribuye a las condiciones del sitio de muestreo, en donde se observó renuevos de individuos, producto de un incendio.

### **X.1 Espectroscopia en Infrarrojo**

Se obtuvieron los espectros en el infrarrojo de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos extraídos de las muestras de suelo, capa de fermentación y mantillo en los 10 sitios de muestreo.



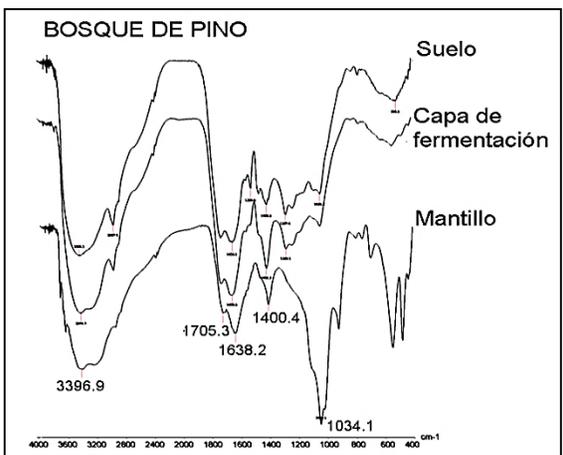
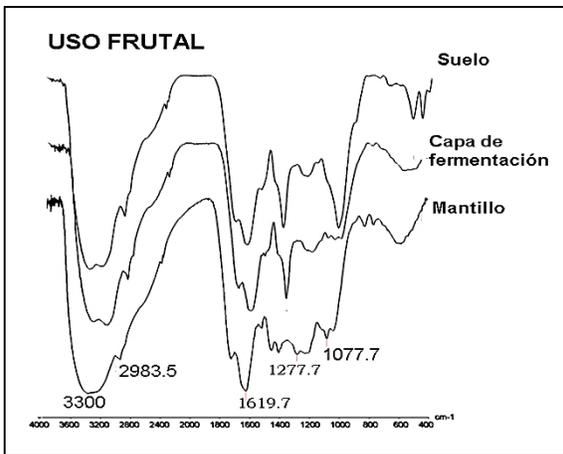


Figura 37. Espectros IR de ácidos húmicos muestras de S, CdF y M de uso frutícola.

Figura 38. Espectros IR de ácidos húmicos muestras de S, CdF y M de bosque de pino.

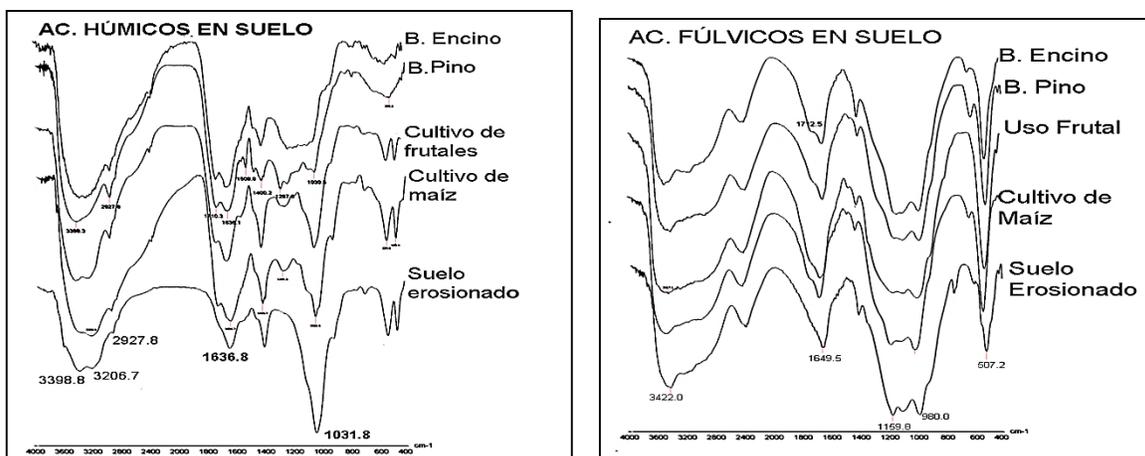


Figura 39. Espectros de Ir de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos extraídos de muestras de suelo con diferente uso.

Los espectros FTIR para las muestras de ácidos húmicos en mantillo muestran una mayor complejidad en las señales, se presenta con mayor intensidad la señal de  $2929\text{ cm}^{-1}$  que nos indica una mayor presencia de cadenas alifáticas, de manera similar la señal de  $1653\text{ cm}^{-1}$  con ausencia de carbonilo tipo amida, indica la presencia de grupos amino, la señal a  $1710\text{ cm}^{-1}$  junto con la señal a  $1653\text{ cm}^{-1}$ , posiblemente indique la presencia de aminoácidos (Castillo *et al*, 2015).

Los espectros FTIR para las muestras de ácidos húmicos aislados desde la capa de fermentación indican una clara disminución de compuestos oxidados tipo alcohol y fenol, las señales de baja intensidad que se presentan de  $1265$  a  $1031\text{ cm}^{-1}$ , nos indican una gran variedad de compuestos  $\text{-C-O-H}$ , la señal intensa a  $3205\text{ cm}^{-1}$  puede provenir de grupos amino presentes en organismos aún sin oxidar. En estas muestras se observa la señal para  $\text{C=O}$ , arriba de  $1700\text{ cm}^{-1}$ , lo que nos indica el inicio del proceso de oxidación (Castillo *et al.*, 2015).

El espectro FTIR de ácidos húmicos extraídos de las muestras de suelo con diferente uso (Figura 39), presentan señales de absorción similares, observándose diferencias en la intensidad relativa de algunas señales específicas entre las diferentes fracciones húmicas. Las principales señales observadas son:  $2920\text{ cm}^{-1}$

(alargamiento alifático C-H),  $1712\text{ cm}^{-1}$  (alargamiento de carbonilo en ácido carboxílico, cetonas y ésteres posiblemente aromáticos),  $1650$  y  $1636\text{ cm}^{-1}$  indican la presencia de grupos amida,  $1400\text{ cm}^{-1}$ , alargamiento simétrico de carboxilato  $\text{COO}^-$ , en  $1030$  y  $1216\text{ cm}^{-1}$ , se observa la señal de deformación O-H y alargamiento C-O de grupos alcoholes y fenoles. Las muestras del bosque de pino muestran una señal intensa a  $1034\text{ cm}^{-1}$  en comparación con el bosque de encino y una disminución en la señal del carboxilato lo que nos indica que en este bosque la fracción húmica del suelo podría estar formando enlaces éter con cadenas alifáticas ya que la señal arriba de  $3200\text{ cm}^{-1}$  es de menor intensidad. Las muestras provenientes de bosque de pino/encino y encino/frutal siguen similar comportamiento. Los espectro FTIR de las muestras provenientes del suelo afectando muestran la presencia de materia orgánica en la que se presentan señales más definidas en  $3629$ ,  $3421$  y  $1033\text{ cm}^{-1}$  indican la presencia de enlaces –O-H de carbohidratos y posiblemente la presencia de aminoácidos, hay ausencia de la señal para el grupo C=O, característica de fracciones húmicas en suelos consolidados (ácidos, carboxilatos, cetonas y ésteres principalmente) (Castillo *et al.*, 2015).

Los espectros de las sustancias fúlvicas en las muestras de suelo, martillo y capa de fermentación muestran señales de absorción similares entre ellas, estando presentes las señales de –O-H características para alcoholes de diferentes tipos y de fenoles a  $1077$ ,  $1159$  y  $1119\text{ cm}^{-1}$ , se observa una señal intensa a  $965\text{ cm}^{-1}$  que posiblemente se deba a compuestos tipo P-O-R y a dobles enlaces C=C de alquenos, esta señal se presenta en la mayoría de las muestras de ácidos fúlvicos independientemente del origen de la muestra. Se hace notar que las señales debidas a –O-H son anchas e intensas lo que indican una mayor cantidad de este tipo de grupos funcionales en los ácidos fúlvicos. En las muestras de suelo no se observa la señal del C=O, solo en la capa de fermentación de las muestra provenientes del uso frutal (Castillo *et al.*, 2015).

## **XI. CONCLUSIÓN**

De acuerdo a los resultados obtenidos se establece que el principal sumidero de carbono es el uso de suelo forestal conservado, que son bosque de encino, bosque de pino y bosque de encino/pino, ya que por las condiciones físicas, químicas y biológicas se obtiene un mayor porcentaje de CO<sub>2</sub> capturado en los componentes del sistema.

Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca es un municipio que se encuentra dentro de una Región Terrestre Prioritaria, el cual conserva mayores recursos forestales, sin embargo la vegetación ha sido desmontada en mayor porcentaje la del suelo forestal, que al ser desmontada cambia su uso forestal al de cultivo agrícola y frutal, y en algunos sitios se observan suelos erosionados, provocando que la captura de carbono sea cada vez menor en esta zona.

El contenido de carbono de la zona de estudio de uso forestal es de: 5.25 % en S, 32.75% en CdF, 48.15% en M y 124.98 Kg en macizo forestal; para uso frutícola 3.21% en S, 27.31 % en CdF, 38.85% en M y 88.81 Kg en macizo forestal, uso agrícola 1.78 % en S y 44.08% en M y suelo erosionado 0.83% en S.

Las características físicas, químicas y biológicas del suelo están relacionadas directamente con el almacenamiento de carbono orgánico total, ya que nos indican su estabilidad, estado de agregación, infiltración y disponibilidad de agua para que se lleven a cabo adecuadamente los ciclos biogeoquímicos para el crecimiento de la vegetación y su descomposición.

Los resultados de biomasa obtenidos, utilizando el volumen de cada árbol, muestran que la cantidad de biomasa se ve influenciado por las dimensiones de los árboles, se obtuvo que el mango es el de mayor biomasa. Al utilizar el método de mínimos cuadrados se obtuvo que el pino es el de mayor biomasa, porque, en este método, también se toma en cuenta el número de árboles muestreados. De acuerdo a los coeficientes de determinación obtenidos, que son mayores a 0.92, tenemos que ambos métodos generan valores confiables.

Los resultados sugieren que el orden de abundancia de grupos oxidados como ácidos carboxílicos, carboxilatos, esterés y cetonas, así como estructuras aromáticas y alifáticas es mayor en suelo, capa de fermentación y mantillo en las muestras de uso forestal en el suelo degradado se muestra la presencia de estructuras poco consolidadas ya que se observan señales definidas que identifican compuestos orgánicos como carbohidratos y aminoácidos

De acuerdo a la línea base obtenida por modelos alométricos el principal almacenamiento de carbono es el mantillo debido a la producción de la vegetación principalmente del uso forestal.

## XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Míreles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velázquez-Martínez y J. Etchevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de las relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36: 725-736
- Aguilar Arias Heileen, Edgar Ortíz Malavassi, Braulio Vilchez Alvarado y Robin L. Chazdon. 2011. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadíos de sucesión de bosque en la península Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 9:22.
- Alcamo, J. (et al.) 2003 *Ecosystems and human Well-being: a Framework for assesment*. USA.
- Ávila G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez y M. Ibrahim, 2001, Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica, *Agroforestería en las Américas*, 8:32-35.
- Bendeck, L.M.,2009, Origen y formación del humus, AGRILAB, Servicios Ambientales y Agrícolas, Bogotá-Colombia.
- Binimelis G. 2010. El cambio climático: ¿qué nos espera?. *Ciencia*. 61:30-39.
- Blume, H.-P., G.W. Brümmer, H. Fleige, R. Horn, E. Kandeler, I. Kógel-Knabner, R. Kretschmar, K. Stahr et B.-M- Wilke, 2016, Scheffer/Schachtschabel, 2016 *Soil Science*, Springer- Verlag, Berlin.
- Boul S. W., F.D. Hole y R.J. McCracken, 1991, *Genesis y clasificación de suelos*, Trillas, 2a Edición, México.
- Castillo G. A.L., L.I. Chavarría, L.A. Pompa, I. Castillo, G. Cruz y M. Arteaga, 2015, Captura de Carbono en suelo, capa de fermentación y mantilla en Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca: Estudio de la materia orgánica por FT-IR, Libro Re-descubriendo el suelo: su importancia ecológica y agrícola, UNAM, FES Zaragoza, México.

- Celi L., M. Schnitzer and M. Negre. 1997. Analysis of carboxyl groups in soil humic acids by awet chemical method, Fourier-transform infrared spectrophotometry, and solution-state carbón-13 nuclear magnetic resonance. A comparative study. *Soil Science*. 162 (3): 189-197.
- Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M. C. Trexler y J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263:185-190
- Enciclopedia de municipios y delegaciones, del Estado de Oaxaca, 2005, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20058a.html>
- FAO, 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales del suelo, Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma.
- Franco, S. 2009. Estimación de la captura de carbono en zonas forestales. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Foth, H.D. y L. M. Turk, 1980, Fundamentos de la ciencia del suelo, editorial continental S.A. México.
- Gallardo A., F. Covelo, L. Morillas y M. Delgado, 2009, Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta Ecosistemas, Asociación Española de Ecología Terrestre, España, 8:4-19.
- Guitiérrez E., R.D. Moreno y N. Villota, 2013, Guía de cubicación de madera, CARDER, Colombia,
- INEGI 2004. Conjunto de Datos Vectoriales de la carta de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000, Serie III (Conjunto Nacional, México)
- INEGI 2011. Catálogo General de Localidades.
- Jaramillo, J. F. D., 2002, Introducción a la Ciencia del Suelo, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín Colombia.

- Masera, O. 1995. Deforestación y degradación forestal en México. Documento de Trabajo 19. Grupo interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A. C. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Masera O., M.J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and longterm scenarios. *Climatic Change* 35:265-
- Melo L.L., 2006. Análisis y caracterización de ácidos fúlvicos y su interacción con algunos metales pesados. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo.
- Molina, M., 2011, Hacia el programa de acción ante el cambio climático de Oaxaca: Aportes técnicos y recomendaciones de acciones tempranas, Centro Mario Molina para estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente A.C., México, D.F.
- Mueller-Dombois D. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*, John Wiley & sons, Inc. USA
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación 31 Diciembre del 2002.
- Ordoñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de ciencias. UNAM. México D.F.
- Ordoñez, A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México D.F:
- Ordoñez, J. A. B., y O. Masera. 2001 Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques*. 7:3-12.
- PAOT, 2010., Cuantificación del carbono almacenado en la vegetación del suelo de conservación del Distrito Federal, México, IPA-05-2010.
- Pagiola S., et al. 2006. La Venta de Servicios Ambientales Forestales: mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. Segunda Edición. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México, D.F.

- Percy K. E., R. Jandl, J. P. Hall, y M. Lavigne. 2003. El papel de los bosques en el ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono. Los bosques y el ciclo de carbono a nivel mundial fuentes y sumideros. N° 1.
- Perdomo C. y Mónica B. 1999. Nitrógeno. Cátedra de Fertilidad. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. Pp. 1-74.
- Primavesi A. 1994. Manejo ecológico del suelo, la Agricultura en regiones tropicales. Quinta edición. El atento. Argentina. 94.
- Pritchett W., 1991, Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento, Limusa, México.
- Prodan M., Peters R., Cox F. Real P., 1997. Mensura Forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) 1997. San José Costa Rica.
- Razo-Zárate, R., A.J. Gordillo-Martínez, R. Rodríguez-Laguna, C.C. Maycotte-Morales y O.A. Acevedo-Sandoval. 2013. Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo, México. Madera y Bosques 19(2):73-86.
- Ruíz, R. P.A., 2007, Madera de Café: Ingenio con Aroma Propio, Revista El Mueble y la Madera (MyM) Edición 55; Bogota, Colombia, (consultado en <http://www.revista-mm.com/ediciones/rev55/muebles.pdf>)
- Robert M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos. FAO.
- Rzedowski J., 1994. Vegetación de México. Limusa. México. 315-318.
- Sanzano A. 2013. El fósforo del suelo. Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNIT. Tucumán. Argentina (consultado en [www.edafologia.com.ar](http://www.edafologia.com.ar))
- Schnitzer M., P. Schuppli. 1989. Method for the Sequential Extraction of Organic Matter from Soils and Soil Fractions. Soil SCI. AM. J. Vol. 53. Canada
- SEMARNAT. 2009. Cambio climático: Ciencia, evidencia y acciones. Serie ¿y el medio ambiente?. México.

- SEDESOL. 2013. Unidad de Microregiones. Cédulas de Información Municipal (SCIM) [www.microregiones.gob.mx](http://www.microregiones.gob.mx) consultado el 08 de Octubre de 2013.
- Silva, A. 1998. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 46p
- Yáñez A., Vargas-Mena A. 2004. La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental?. Gaceta ecológica No. 70 SEMARNAT. México. pp. 5-18

### **XIII.ANEXOS**

#### **Anexo A. Materia Orgánica, método de Walkey y Black (Jackson 1984)**

##### Reactivos

Dicromato de potasio 1.0 N

Sulfato ferroso 0.5 N

Indicador de difenilamina

Ácido Sulfúrico concentrado

Ácido fosfórico concentrado

Fluoruro de sodio NO.

##### Procedimiento:

- Se pesan 0.5 g de suelo tamizado en una malla de 1.5 mm o malla de 30, se colocan en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se añaden 5 mL de dicromato de potasio 1 N y se agita.
- Se añaden 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y se agita durante 1 minuto, se deja reposar 30 minutos o hasta que se haya enfriado.
- Se añaden 100 mL de agua destilada, se agita y se deja enfriar.
- Agregar 5 mL de ácido fosfórico, 0.05 g de fluoruro de sodio y 10 a 15 gotas de indicador de difenilamina.
- Se titula con sulfato ferroso.

##### Cálculos

$$\% \text{ M.O.} = 10(1 - M/B) \times 1.34$$

$$\% \text{ M.O.} = 5(1 - M/B) \times 1.34$$

M= mL de sulfato ferroso gastados en la muestra problema

B= mL de sulfato ferroso gastados en el blanco

El factor 1.34 se deduce de la siguiente forma

$$(0.1 \text{ N}) \times 12/4000 \times 1.72/0.77 \times 100/0.5 = 1.34$$

N= normalidad de dicromato de potasio

12/4000 = peso miliequivalente del carbono

1.72 = factor de transformación del carbono en materia orgánica (MO)

0.77 = factor de recuperación de 77% determinado por Walkey

0.5 peso de la muestra

Si el peso de la muestra analizada es diferente a 0.5 g se sustituye el peso del suelo analizados en la ecuación anterior para encontrar el factor correspondiente para calcular el porcentaje.

#### **Anexo B.** Calcinación (Jaramillo, 2002)

- Se pesa una muestra de 1g de suelo seco al aire y tamizado a 2mm (o en la fracción requerida) y se coloca en crisoles de porcelana.
- Se seca el conjunto ( la muestra y el crisol) en horno a 105°C hasta peso constante (aproximadamente entre 24 y 48 horas), se retira del horno y se deja enfriar en desecador, luego se pesa.
- Se calcina la muestra en una mufla a 600 ó 700°C, durante 3 o 4 horas.
- Se retira de la mufla el conjunto, se deja enfriar en desecador y se pesa nuevamente.
- Se calcula la diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcinar; esta diferencia de peso equivale a la cantidad de materia orgánica que se perdió de la muestra por efecto de la calcinación.
- Se expresa la diferencia de peso en porcentaje, con respecto al peso inicial de la muestra (seca a 105°C) y ese es el porcentaje de materia orgánica que tenía aquella.

## **Anexo C.** Extracción de Ácidos Húmicos y Fúlvicos (Celi *et al.* 1997)

### Reactivos

- Solución de pirofosfato de sodio ( $\text{Na}_4\text{O}_7\text{P}_3$ ) 0.1M
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M
- Ácido clorhídrico (HCl) 6 M

### Procedimiento

1. Secar la muestra del suelo en la estufa a una temperatura de 30°C, y tamizar con una luz de malla de 2 mm.
2. Pesar 5g de muestra y transferir a matraz Erlenmeyer con tapón, adicionar 25 mL de solución de pirofosfato de sodio e hidróxido de sodio 0.1 M (1:1), agitar y dejar a temperatura ambiente durante 24 horas bajo atmósfera de nitrógeno.
3. Centrifugar la muestra a 3000 rpm, por 30 minutos, acidificar el sobrenadante con la solución de ácido clorhídrico 6 M hasta pH 1. Dejar reposar 12 horas a temperatura ambiente.
4. Centrifugar por 30 minutos a 3000 rpm, el sobrenadante (ácidos fúlvicos) se coloca en cápsula de porcelana y se seca en la estufa a una temperatura de 30-35°C.
5. El precipitado corresponde a los ácidos húmicos, los cuales se disuelven nuevamente con 15 mL de la solución de pirofosfato de sodio e hidróxido de sodio (1:1), agitar por 4 horas en atmósfera de nitrógeno.
6. Acidificar nuevamente con solución de ácido clorhídrico 6 M hasta pH 1. Permitiendo que coagulen los ácidos húmicos.
7. Centrifugar nuevamente por 30 minutos a 3000 rpm, eliminando el sobrenadante y lavando el precipitado con agua destilada (de 4 a 5 lavados) hasta que el contenido de ceniza sea menor al 4%.
8. Secar los ácidos húmicos en la estufa a una temperatura de 30 a 35°C.
9. Almacenar en recipientes herméticos

### Caracterización por espectroscopia IR

Instrumento. Espectrofotómetro en el infrarrojo con transformadas de Fourier Perkin Elmer 1800. La posición de las señales se da con número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ).

Preparación de la muestra para análisis IR. Pulverizar en un mortero de ágata 5 mg de muestra con 100 mg de bromuro de potasio y triturar hasta obtener un polvo fino, colocar la muestra en una matriz de acero inoxidable y comprimir en una prensa hidráulica. Para obtener una pastilla de KBr, la cual se analiza en el espectrofotómetro IR.

## **ANEXO D. Nitrógeno Total, Método Semimicro-Kjeldahl**

### Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado  $H_2SO_4$
- Mezcla de indicadores.
- Ácido bórico con indicador.
- Mezcla de catalizadores.
- Hidróxido de Sodio 10 N.
- Agua libre de  $CO_2$ .
- Ácido sulfúrico 0.05 N.

### Procedimiento

Digestión: Se pesan 1, 0.05 o 0.25 g de muestra para suelos con 2, 4 u 8% de materia orgánica, respectivamente; en suelos arenosos se sugiere pesar 0.5 g para evitar que la muestra se proyecte durante la digestión. Se adicionan 4 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se deja en reposo toda la noche. Simultáneamente se corren blancos de reactivos. Se agrega 1.1. g de mezcla de catalizadores y se calienta hasta que el digestado se torne claro ( $260^\circ$ ). Se bulle la muestra una hora a partir de ese momento. La temperatura en esta fase se debe regular de modo que los vapores del ácido sulfúrico se condensen en el interior del cuello del tubo de digestión.

Completada la etapa anterior se deja enfriar el tubo y se agrega suficiente agua para colocar la suspensión, mediante agitación, el digestado (4 a 5mL son suficientes). Se deja decantar las partículas de sílice con lo que se evita la precipitación de cristales de sulfato de amonio.

Destilación: Se transfiere el contenido al bulbo de la cámara de destilación del aparato. Es conveniente lavar el matraz de digestión dos o tres veces con pequeñas porciones de agua, adicionarlas junto con la muestra a la cámara. Se coloca en el tubo de salida del aparato de destilación un matraz Erlenmeyer de 125 mL con 10 mL de la solución de ácido bórico con indicador. Se adicionan 10 mL de Na OH 10

N al bulbo de destilación. Se conecta el flujo de vapor y se inicia la destilación. Se destilan aproximadamente 75 mL y se lava el condensador.

El nitrógeno se determina por titulación.

### **Anexo E. Fósforo Extractable Bray y Kurtz 1 Modificado**

#### Reactivos

- Solución extractante de Bray y Kurtz (Fluoruro de amonio 0.03 N en ácido clorhídrico 0.025 N)
- Ácido sulfúrico 14 N
- Tartrato doble de amonio y potasio al 0.5% (p/v)
- Solución 2 stock" de molibdato de amonio
- Reactivo mezclado
- Estándar de P de 200 ppm
- Estándar de P de 5 ppm

#### Procedimiento

Se pesan 2.5 g de muestra y se colocan en un matraz Erlenmeyer de 50 mL. Se adicionan 25 mL de la solución extractante (se tapan los matraces con tapones de hule para evitar contaminación).

Se agitan por 5 minutos en agitador de acción recíproca a 180 rpm. El extracto se filtra en papel Whatman 5, 42 o similar. Simultáneamente se corren blancos de reactivos.

Se toma una alícuota de 2 a 40 mL del extracto, dependiendo de la concentración de P en solución (alícuotas de 5 a 10 mL son en general adecuados para suelos bajos y medios en P) y se coloca en un matraz aforado de 50 mL. Se adiciona agua hasta completar aproximadamente 40 mL. Se agregan 5 mL del reactivo mezclado, se agitan y completan a volumen. Se esperan 30 minutos y se lee en un espectrofotómetro a 882 nm. Paralelamente se prepara una curva de calibración de fósforo.