



Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Planeación Urbana y Regional



“Estimación de los almacenes de carbono en suelos forestales y uso agropecuario en la Localidad El Suchual de Santa Ana, Municipio de Tlatlaya, Estado de México”

TESIS

**Que para Obtener el Título de:**

**Licenciado en Ciencias Ambientales**

Presenta

Israel Bernal González

DIRECTORAS DE TESIS:

*Dra. en Geografía. María Estela Orozco Hernández*

*M. en C. Patricia Míreles Lezama*

**CONACYT- SEMARNAT 107956**

**SIEA-UAEM 3539/2013CHT**

Toluca México 2015

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	9
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	9
<b>HIPÓTESIS</b> .....	9
<b>CAPÍTULO I MARCO DE REFERENCIA</b> .....	10
<b>1.1 RESERVORIOS DE CARBONO</b> .....	10
<b>1.2. FLUJOS DE CARBONO EN ECOSISTEMAS TERRESTRES</b> .....	12
1.2.1. <i>Carbono en Biomasa viva</i> .....	13
1.2.2. <i>Carbono en Biomasa muerta o en descomposición (se involucra el mantillo y la madera muerta o necro masa)</i> .....	14
1.2.3. <i>Carbono en el suelo</i> .....	14
<b>1.3. ECOSISTEMAS NATURALES</b> .....	16
<b>1.4. ECOSISTEMAS MANIPULADOS POR EL HOMBRE</b> .....	23
1.4.1. <i>Bosques secundarios</i> .....	23
1.4.2. <i>Agrícola</i> .....	26
1.4.3. <i>Pecuario</i> .....	30
<b>1.5. CUBIERTA VEGETAL Y CARBONO EN SELVA BAJA CADUCIFOLIA</b> .....	32
<b>CAPÍTULO II</b> .....	36
<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	36
<b>2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	36
<b>2.2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	39
<b>2.3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	40
2.3.1. <i>Clasificación usos de suelo</i> .....	40
2.3.2. <i>Método de Muestreo</i> .....	41
<b>CAPÍTULO III CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	49
<b>3.1. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE TLATLAYA</b> .....	49
<b>3.2. DEMOGRAFÍA</b> .....	50
<b>3.3. USOS DE SUELO MUNICIPIO DE TLATLAYA</b> .....	51
<b>3.4. LOCALIDAD EL SUCHUAL DE SANTA ANA (MUNICIPIO DE TLATLAYA ESTADO DE MÉXICO)</b> .....	53
3.4.1. <i>Clima</i> .....	53
3.4.2. <i>Geología</i> .....	55
3.4.3. <i>Edafología</i> .....	56
3.4.4. <i>Datos demográficos</i> .....	57
3.4.5. <i>Uso de suelo Localidad El Suchual de Santa Ana</i> .....	59

<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1. SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE 67 AÑOS .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2. SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE 10 AÑOS.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3. PECUARIO.....</b>	<b>66</b>
<b>4.4. AGRÍCOLA .....</b>	<b>67</b>
<b>4.5. ESTRUCTURA FORESTAL .....</b>	<b>69</b>
<b>4.6. CARBONO ALMACENADO EN LA CUBIERTA FORESTAL Y USOS DE SUELO .....</b>	<b>72</b>
<b>4.7.- DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN.....</b>	<b>74</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>98</b>

## **Agradecimientos**

A la Universidad Autónoma del Estado de México que a través de la Facultad de Planeación Urbana y Regional adquirí mi formación profesional.

A la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados y a la Dirección de Investigación, Departamento de Proyectos de Investigación con Recursos UAEM por el apoyo para la realización de este trabajo.

A la M. Patricia Míreles Lezama por su apoyo y asesoramiento en la realización de este trabajo.

A la Dra. María Estela Orozco Hernández por su asesoramiento y ayuda que me ha brindado.

Al Dr. Gustavo Álvarez Arteaga por su asesoramiento y apoyo tanto en campo como en laboratorio, así como sugerencias y recomendaciones para mejorar el trabajo.

A los compañeros y amigos de la Licenciatura en Ciencias Ambientales que contribuyeron en la realización de este trabajo.

A los habitantes de Localidad El Suchual de Santa Ana (Municipio de Tlatlaya Estado de México) por facilitarnos los instrumentos para la realización de este estudio.

A mis padres y hermanos que me han acompañado y apoyado en el transcurso de mi vida.

A Edith y Arturo por su continuo apoyo y sugerencias.

A mi abuelo materno Hilario González Miranda.

## RESUMEN

En el planeta existen 5 reservorios de carbono de los cuales, los reservorios suelo y biosfera son fácilmente manipulados por el hombre. La degradación de estos reservorios conlleva a hacer énfasis en aquellos ecosistemas tanto naturales como antrópicos como posibles mitigadores de carbono (C), tomando en cuenta variables como la capacidad y velocidad de almacenamiento de C.

Este trabajo responde a un vacío en el estudio de ecosistemas de clima húmedo seco; gran parte de las investigaciones sobre captura de C se han enfocado a ecosistemas de clima templado (Bosques de Coníferas, Mesófilo de Montaña). La falta de información sobre captura de C en SBC (Selva Baja Caducifolia), aunado a una continua degradación al que está sometido, presenta un mayor peligro de desaparecer, por ello es preciso tomar cuenta su alta capacidad de regenerarse de forma natural a corto plazo, destacando su importancia como mitigador de C al igual que, conserva de forma indirecta una gran biodiversidad de flora y fauna en su mayoría endémica del país.

El objetivo de este trabajo pretende determinar y resaltar el contenido de carbono en SBC en dos coberturas forestales sometidos a diferentes grados de perturbación y dos usos de suelo (pecuario y agrícola) en la Localidad El Suchual de Santa Ana, Municipio de Tlatlaya, Estado de México, al igual que un análisis detallado de los diversos reservorios, aéreo (árboles, mantillo y herbácea) y subterráneo (suelo y raíces). El diseño experimental de la investigación incluye la colecta de muestras de suelo y biomasa a partir de un muestreo de clúster; las muestras colectadas fueron procesaron en el laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Planeación Urbana y Regional.

En la parte de resultados tanto a nivel municipal como local se observó una alta perturbación forestal producto de actividades agropecuarias sobresaliendo la actividad pecuaria desarrollada dentro de la misma selva, aunado a una

continua extracción de materias primas (madera, plantas medicinales, frutas, animales comestibles entre otros). La mayoría de las prácticas agropecuarias desarrolladas son de subsistencia, todo lo derivado de ello es exclusivamente para autoconsumo.

Se encontró que las zonas forestales presentan un alto número de individuos jóvenes con diámetros < (menores a 10cm) aunado a una escasez de ejemplares con diámetros > (mayores a 50cm), la mayor acumulación de biomasa se registró en estos últimos diámetros lo que sugiere un aprovechamiento selectivo. En la parte de resultados de carbono se encontraron similitudes de carbono total en las dos zonas forestales, resaltando diversos tiempos de regeneración, la  $SBC_{67 \text{ años}}$  acumulo un total de  $71.3 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Megagramos de Carbono por Hectárea) mientras tanto la  $SBC_{10 \text{ años}}$  igualo casi en su totalidad con  $71 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , en el caso de las actividades agropecuarias, mostraron un descenso en el almacén total de carbono con  $67 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  en zona pecuaria y  $52.5 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  en zona agrícola, sin embargo el mayor aporte de carbono acumulado se registró en el reservorio suelo a una profundidad de 20cm, siendo la actividad pecuaria la que tuvo una mayor aporte de  $52 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Algunos factores que impidieron un mayor potencial de almacenamiento de carbono en estas zonas son el tipo de suelo, pendiente pronunciada, prácticas de manejo, condiciones socioeconómicas precarias que presenta la población aunado a una a la falta de programas y apoyos por parte de gobierno.

## INTRODUCCIÓN

Algunos científicos aseveran que el cambio climático es un proceso natural en el ciclo de vida del planeta, sin embargo se sabe que dicho proceso se ha acelerado de forma alarmante como resultado de actividades antropogénicas, entre ellas el uso de combustibles fósiles, fabricación de cemento, electricidad y principalmente los cambios de uso de suelo, dando lugar a un incremento de los Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2001).

El desequilibrio entre sumideros y emisiones conlleva a tomar nuevas alternativas, enfocándose en aquellos reservorios que son fácilmente manipulados por el hombre (Reservorio biosfera y suelo) y su papel que desempeñan en la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). A nivel mundial el reservorio biosfera y suelo almacena en promedio 2190 Gt (Gigatonelada =1.000.000.000 de toneladas) de carbono (C), a estos reservorios se le asocia a los ecosistemas terrestres (ecosistemas forestales). Actualmente los cambios de uso de suelo y el abandono de tierras son uno de los principales factores de emisiones de C a nivel mundial, en el país es muy común este tipo de prácticas principalmente en el centro en zonas de ladera media de montaña, en donde se pueden encontrar bosques secundarios con diferentes estados de regeneración (acahuales), esto se debe a una migración de la población rural a zonas urbanas (López *et al.*, 2006).

La Selva Baja Caducifolia es considerada el segundo ecosistemas natural en el país con mayor degradación, a pesar de estos cambios presenta una alta capacidad de regenerarse de forma natural.

El objetivo de esta investigación es el caracterizan los diferentes usos de suelo a nivel local bajo diferentes estratos (arbóreo, herbáceo, mantillo y suelo) y diversos uso de suelo, para posteriormente ser contrastaron.

Así mismo se aplicaron entrevistas a propietarios con zonas sometidas a actividades agropecuarias y zonas forestales así como la recolección de muestras de suelo y biomasa, posteriormente los datos y las muestras se procesaron en el laboratorio para determinar el volumen de C en los sitios seleccionados. La hipótesis planteada asevera que el uso forestal representado por la Selva Baja Caducifolia, almacena mayor cantidad de C aéreo y subterráneo, que los usos agrícola y pecuario, los resultados finales afirman que el total del C almacenado en Selva Baja Caducifolia fue mayor en comparación con el uso agrícola y pecuario sin embargo al ser analizado por reservorios, los usos agropecuarios almacenaron una mayor cantidad de C en el suelo.

El estudio se encuentra conformado por cuatro capítulos, en el primero capítulo se desarrolla el marco de referencia y en él se tratan aspectos sobre los reservorios y su función como mitigadores de C haciendo hincapié en los reservorios suelo y biosfera (ecosistemas terrestres) como posible solución natural en la mitigación de GEI. Así mismo se hace mención de la importancia que desempeñan los ecosistemas naturales como antrópicos, estos últimos como emisores y posibles receptores de C a futuro, al igual que la caracterización e importancia de la Selva Baja Caducifolia como mitigador de C.

En el segundo capítulo se desarrolla el diseño de la investigación, los fundamentos del planteamiento del problema, la justificación, objetivo general, y específicos, la hipótesis de trabajo y la metodología.

En el capítulo tres se caracterizan las condiciones biofísicas y demográficas del municipio de Tlatlaya y de la Localidad el Suchual de Santa Ana, este último con mayor énfasis, basándose en datos estadísticos, información cartográfica y entrevistas realizadas a los propietarios de la localidad.

El capítulo cuarto se enfoca a los resultados obtenidos de la investigación, seguidos por la discusión de resultados, las conclusiones y la bibliografía consultada.

## **Objetivo general**

Estimar la captura de carbono (actual) en dos coberturas forestales de Selva Baja Caducifolia y dos usos de suelo en la localidad El Suchual de Santa Ana, Municipio de Tlatlaya, Estado de México.

## **Objetivos específicos**

- 1.- Caracterizar los diferentes usos de suelo a nivel municipal y local (El Suchaul de Santa Ana).
- 2.- Estimar los almacenes carbono bajo diferentes estratos (arbóreo, herbáceo mantillo y suelo) para cada uso de suelo.
- 3.- Contrastar los diferentes reservorios de carbono en cada uso de suelo.
- 4.- Ratificar los resultados obtenidos y factores que intervienen.

## **Hipótesis**

El uso forestal representado por la Selva Baja Caducifolia, almacena mayor cantidad de carbono aéreo y subterráneo, que los usos agrícola y pecuario.

## CAPÍTULO I MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se darán a conocer los diferentes reservorios y ecosistemas terrestres (biomasa y suelo), y su importancia como fuentes de mitigación de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), al igual que los factores que intervienen en su degradación tomando en cuenta los cambios de uso de suelo (agrícola y pecuario) como principales modificadores del paisaje y emisión de CO<sub>2</sub>. Así mismo este estudio asevera la importancia de las selvas secas (Selvas Bajas Caducifolias) en la mitigación de C sujeto a diversos cambios de uso de suelo.

### 1.1 Reservorios de carbono

Existen cinco reservorios de carbono en el planeta: a) atmósfera, b) biósfera, c) suelo, d) oceánico, y e) geológico (combustibles fósiles), los cuales la interacción e intercambio de carbono entre cada reservorio se genera a partir de complejas vías o ciclos (flujos biogeoquímicos) impulsados por la energía del sol desde un ambiente vivo a uno no vivo, convirtiéndose en compuestos útiles a través de procesos biológicos, geológicos y químicos.

Se cree que dichos flujos biogeoquímicos entre la atmósfera, continentes y océanos se encontraban en equilibrio, pero con la llegada de la revolución industrial a finales del siglo XVIII y a principios del siglo XIX aunado a los cambios de uso de suelo, se ha generado un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> excediendo la capacidad de captura fijada por organismos fotoautótrofos (Organismos que utilizan la energía de la luz solar para fijar el dióxido de carbono). A continuación se mencionan los 5 reservorios de carbono.

Reservorio atmosférico: Es el reservorio más dinámico y con mayor crecimiento en sus últimas décadas, con un considerable aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico a principios del siglo XXI alcanzando 393 Gt (Gigatonelada). La atmósfera actual

contiene alrededor de 750 Gt de CO<sub>2</sub>, este incremento se debe al uso de combustibles fósiles y la conversión de suelos forestales a suelos agrícolas y pecuarios.

Reservorio Oceánico Es el reservorio con más acumulación de CO<sub>2</sub>, disuelto en los mares en forma de carbonatos y bicarbonatos, almacena alrededor de 38100 Gt de carbono en zonas profundas. Es difícil evaluar el impacto del cambio climático en la capacidad oceánica de captura de carbono, pero se sabe que las temperaturas más cálidas, sin duda afectan la absorción de carbono inorgánico, debido a que el CO<sub>2</sub> se disuelve con menor facilidad en agua tibia que en agua fría. (Cox *et al.*, 2000).

Reservorio Geológico: Es considerado el segundo reservorio de CO<sub>2</sub>, almacenando alrededor de 3450 Gt su fijación de carbono es lenta ya que, su almacén de carbono consta de millones de años como resultado de restos de plantas y animales; actualmente tiene un alto valor económico debido a que de él provienen recursos como el petróleo, el carbón (Combustibles fósiles) y la producción de cemento (Roca caliza). Dentro de este reservorio existe un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la alta demanda energética, es considerado por algunos científicos como el primero emisor de GEI después de los cambios de uso de suelo.

Reservorio suelo y Biosfera: Ambos reservorios se encuentran estrechamente vinculados ya que a partir de la fotosíntesis las plantas toman el carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>), y lo incorporan a los procesos metabólicos de las plantas en donde pasan a ser parte de la estructura de los árboles para poder desarrollarse (raíces, follaje, ramas, frutos y tronco), posteriormente este C es incorporado al suelo en tres procesos, humificación, degradación y sedimentación. Los ecosistemas terrestres almacenan alrededor de 2190 Gt, de los cuales el 28% corresponde a la vegetación y 72% al suelo y detritus. Los cambios de uso de suelo han contribuido en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> las cuales se emiten alrededor de 1.6 Gt. Como solución natural la captura

de CO<sub>2</sub> se le asocia a los diferentes ecosistemas terrestres por ende dichos ecosistemas difieren en su capacidad y velocidad de almacenar el carbono (De Deyn *et al.*, 2008) esto se debe a la composición del tipo de especie forestal, tipo de suelo, clima y condiciones de conservación a las que estén sometidas.

**Tabla 1.1. Reservorios de carbono**

Reservorios	Almacén		Flujos: Gt carbono anuales	
			Emisiones	Fijación
Océano	C disuelto 700 Gt	=39820 Gt	90 Gt	92 Gt
	Superficie 1020 Gt			
	Profundo 38100 Gt			
Suelo	1580 Gt		60 Gt Producción primaria neta global y respiración	
			1.5 Gt Cambios de uso de suelo	0.5 Gt
Biomasa	610 Gt		60 Gt	121 Gt
Atmósfera	750 Gt		Sujeta a los demás reservorios	
Geológico	Carbón 3000 Gt	=3450 Gt	8 Gt combustibles fósiles	S/N
	Petróleo 300 Gt			
	Sedimentos 150 Gt			

Fuente: PUNUMA, 2009.

Nota: 1 Gt (Gigatonelada) = 1.000.000.000 de toneladas, se piensa que alrededor de 150 Gt de C han sido absorbidas por los océanos, y entre 120 y 130 Gt por los sistemas terrestres, y el resto ha permanecido en la atmósfera (Houghton, 2007).

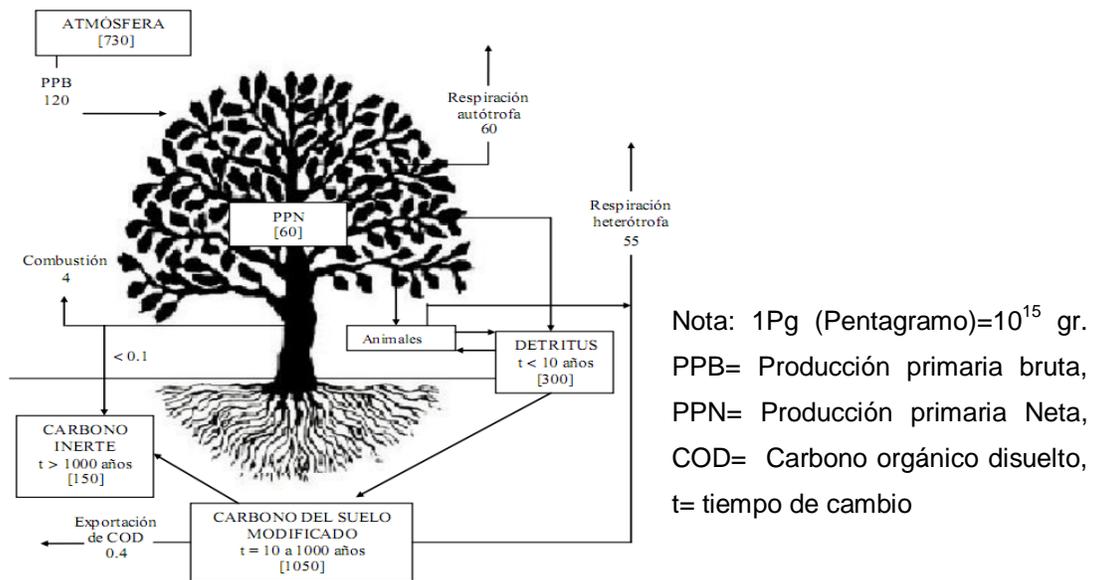
## 1.2. Flujos de carbono en ecosistemas terrestres

Los ecosistemas terrestres almacenan alrededor de 2100 Gt de carbono en organismos vivos, hojarasca y materia orgánica en suelo, lo que equivale al triple del que se encuentra presente en la atmósfera (Trumper *et al.*, 2009).

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) establece dos grandes depósitos de almacenamiento de carbono en los ecosistemas terrestres; biomasa y carbono orgánico en el suelo respecto a cada unidad de tierra sometida a una actividad, se especifica que es necesario notificar el carbono almacenado en cinco depósitos de carbono: la biomasa sobre el suelo, la biomasa bajo el suelo, la madera muerta, los detritus y el carbono orgánico en el suelo, la disminución de algún depósito favorece con el aumento del otro.

Ordóñez (1999), por su parte establece una clasificación para la cuantificación de carbono en diferentes almacenes, los cuales incluyen: carbono contenido en la vegetación, carbono contenido en la materia orgánica en descomposición y el carbono contenido en los suelos.

**Figura No. 1.1. Ciclo del carbono en ecosistemas terrestres**



Fuente: Retomado de la Tesis de Gueye Sandoval Kinné 2010 en base a datos del IPCC 2001.

### 1.2.1. Carbono en Biomasa viva

Involucra el carbono acumulado en biomasa aérea como subterránea (raíces).

**Biomasa aérea:** Biomasa viva en el que comprende el tronco, hojas, tallos, ramas, corteza, semillas y follaje. Su capacidad de almacenamiento está en función a una serie de variables, como el tipo de especie, tasa de crecimiento, longevidad, sitio, clima y periodos de rotación. Los bosques jóvenes o secundarios alcanzan un mayor almacén de carbono en los primeros años de desarrollo que un bosque maduro cuya fijación de carbono alcanza un punto de equilibrio.

*Biomasa bajo el suelo:* Biomasa viva contenida en las raíces > 2mm de diámetro, ya que según Guerra y Sánchez (2013), esto debe a que no es fácil de distinguir la materia orgánica del suelo.

### **1.2.2. Carbono en Biomasa muerta o en descomposición (se involucra el mantillo y la madera muerta o necromasa)**

*Mantillo:* Biomasa no viva con un diámetro inferior a un diámetro mínimo elegido por el país (ejemplo 10 cm), que yace muerta en varios estados de descomposición sobre el suelo mineral u orgánico; comprende capas de detritus, fúmica y húmica.

El crecimiento de este almacén está en función de la cantidad anual de detritus depositado en forma de hojas, ramillas, frutos, flores y corteza, menos la tasa anual de descomposición. Prácticas de gestión tales como la recolección de madera, la quema de maleza o la preparación del lugar, alteran enormemente las propiedades de los detritus (Fisher y Binkley, 2000). Existen pocos estudios que documenten claramente los efectos de la gestión sobre el carbono presente en los detritus cuando no se pueden distinguir (Smith y Heath, 2002).

*Madera muerta o Necromasa:* Biomasa boscosa no viva contenida en la superficie o en el suelo a excepción del mantillo. La madera muerta comprende raíces muertas, ramas, árboles muertos y tocones (parte del tronco de un árbol que queda unida a la raíz cuando lo cortan por el pie) > 10 cm de diámetro.

### **1.2.3. Carbono en el suelo**

El suelo se considera como un universo dinámico en el que influyen diferentes factores para su formación, tales como el relieve, material parental, organismos, y el tiempo.

Los componentes de un suelo ideal se encuentran conformados por material mineral, materia orgánica, (denominados materiales sólidos) agua y aire.

El material mineral conforma un 45% del suelo, constituido básicamente de arcillas, limos, arenas, piedras y gravas; la materia orgánica conforma un 5% del suelo y corresponde a residuos de origen biológico, acumulados en el suelo en diferentes periodos de tiempo, el agua y el aire corresponden al 50% total del suelo, formado por espacios vacíos ocupados por agua y aire inversamente relacionados, ya que a menor contenido de aire mayor contenido de agua y viceversa, dicha dinámica varía en función del clima y el relieve, este factor es importante en el desarrollo normal de las plantas, el espacio mínimo ocupado por el aire no debe ser menor a 10% con el fin de evitar asfixia en las plantas.

La agregación y la estabilidad estructural del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica, incrementando la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo mejorando la dinámica y disponibilidad de nutrientes que las plantas requieren así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica.

El C contenido en el suelo se encuentra conformado por carbono orgánico (contienen fundamentalmente átomos de C, H, O, N,) e inorgánico, (capturado en formas más estables tales como el carbonato cálcico) (Sánchez, *et al.*, 2004) a una profundidad especificada y elegida por el país.

En los suelos con vegetación de pastos o de bosque tropicales es común encontrar altos contenidos de materia orgánica considerando la velocidad de incorporación de residuos al suelo y la velocidad de transformación.

### 1.3. Ecosistemas naturales

Los bosques más grandes del planeta tienen una profunda influencia sobre el almacén de CO<sub>2</sub> atmosférico. Asimilan más de 10 a 20 MgC·ha<sup>-1</sup> (Megagramos de Carbono por Hectárea) que actividades agropecuarias, almacenando más CO<sub>2</sub> que la atmósfera.

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico varían conforme las estaciones del año; alcanzando una máxima acumulación de CO<sub>2</sub> a finales del invierno, y una mínima a finales del verano. Dicho fenómeno se le asocia a la fotosíntesis que cumplen las plantas al absorber el CO<sub>2</sub> atmosférico durante la época de crecimiento o en los meses lluviosos, almacenando el CO<sub>2</sub> en sus tejidos como hidratos de carbono. Los ecosistemas tropicales representan una alta capacidad para el secuestro y retención de CO<sub>2</sub> en la biomasa, así como en aquellos ecosistemas de latitudes elevadas, donde las reservas de carbono se ubican en gran medida en las capas de suelo permanentemente congeladas (*permafrost*) y en la turba (Trumper *et al.*, 2009). Dichos ecosistemas forestales cuentan a su vez con la capacidad de absorber y reflejar la radiación solar llamado albedo o coeficiente de reflexión; las zonas más oscuras del planeta tienden a reflejar muy poca radiación solar, mientras que las zonas claras reflejan gran parte de la radiación que reciben en su superficie. Se mide a partir de una escala de 0 hasta el 1, o como porcentaje (0% para colores oscuros y del 100% colores claros o ligeros), cada especie forestal cuenta con un % de albedo diferente, en el caso de una selva caducifolia su albedo es de 0.14 (14%) en los meses de junio a septiembre y del 0.2 (20%) en octubre a mayo (Barradas y Adem, 1993) este incremento se debe en gran parte a que dichos ecosistemas pierden sus hojas en los meses secos. En comparación con los cambios de usos de suelo tales como la actividad pecuaria (pastos, pasturas) y agrícola, el porcentaje de albedo es del 22% al 25%. (Radiación solar (s.f.) Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~agromet/curso/1-2/TeoRadiacion.pdf>). Por ello los cambios de uso de suelo inducidos por el hombre no sólo conllevan

en el aumento de las emisiones de carbono a la atmósfera, también contribuyen al aumento de la temperatura global.

A continuación se menciona la importancia y contribución de cada ecosistema terrestre no alterado por el hombre en la mitigación de C.

Tundra: La tundra cuenta con poca vegetación superficial, pero tiene la densidad más alta de C almacenamiento bajo el suelo congelado, conocida como permafrost, el cual equivalente a  $218 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Amundson, 2001) almacenado en suelo y  $40 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  en biomasa (Shaver *et al.*, 1992).

Bosque boreal: El 80% de la biomasa en estos ecosistemas se encuentra en la superficie con una acumulación de  $60\text{-}100 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Mahli *et al.*, 1999; Luyssaert *et al.*, 2007). Dadas las bajas temperaturas, la descomposición en los bosques boreales es baja. Como en el caso de la tundra, esto da origen a grandes acumulaciones de carbono en el reservorio del suelo con  $116\text{-}343 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , (Mahli *et al.*, 1999; Amundson, 2001).

Bosque templado: El crecimiento de las plantas, la descomposición y el ciclo del carbono son rápidos en los bosques templados, en suelo se acumula menos carbono que en los bosques boreales o la tundra, se estima una acumulación de carbono de  $150\text{-}320 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  de cual el 60% corresponde a la biomasa vegetal (Amundson, 2001).

Pastizales templados: Dichos pastizales tienen bajos niveles de biomasa vegetal en comparación con los ecosistemas de bosques o matorrales. No obstante sus reservas de carbono orgánico en el suelo acumula más que las de los bosques templados  $133 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , (Amundson, 2001).

Desierto y matorrales secos: Se calcula que el contenido de carbono de los suelos desérticos oscila entre  $14\text{-}100 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , mientras que los cálculos para los matorrales secos llegan a  $270 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Grace, 2004). El carbono

acumulado en la vegetación es considerablemente menor, almacenando alrededor de 2-30 MgC·ha<sup>-1</sup>.

Sabanas y pastizales tropicales: La cantidad de carbono acumulada en la superficie depende de la cobertura arbórea, almacenando de entre 2-30 MgC·ha<sup>-1</sup> en biomasa, 7-54 MgC·ha<sup>-1</sup> en raíces y de 174 MgC·ha<sup>-1</sup> en suelo (Grace *et al.*, 2006). Así mismo actúan como sumideros de carbono, pues absorben alrededor de 0.5 Gt C al año (Scurlock y Hall, 1998).

Bosques tropicales: El clima cálido y lluvioso de los bosques tropicales húmedos tiene por efecto el rápido crecimiento de las plantas y la mayor parte del carbono se encuentra en la vegetación (Malhi *et al.*, 2008; Chave *et al.*, 2008; Lewis *et al.*, 2009). En promedio, se calcula un almacén de 170-250 MgC·ha<sup>-1</sup> en la vegetación superficial, 40 MgC·ha<sup>-1</sup> en raíces y 90-200 MgC·ha<sup>-1</sup> en suelo.

**Tabla No. 1.2. Almacenes de carbono en biomasa bajo diferentes ecosistemas terrestres naturales**

Ecosistemas	Vegetación Gt/C	Suelo Gt/C	Total Gt/C
Tundra	6	121	127
Bosque boreal	88	471	559
Bosque templado	59	100	159
Pastizales sabanas y matorrales templados	9	295	304
<b>Bosque tropical y subtropical</b>	<b>212</b>	<b>216</b>	<b>428</b>
Pastizales sabanas y matorrales tropicales y subtropicales	66	264	330
Desiertos y matorrales secos	8	191	199
Humedales	15	225	240

Fuente: IPCC (2000).

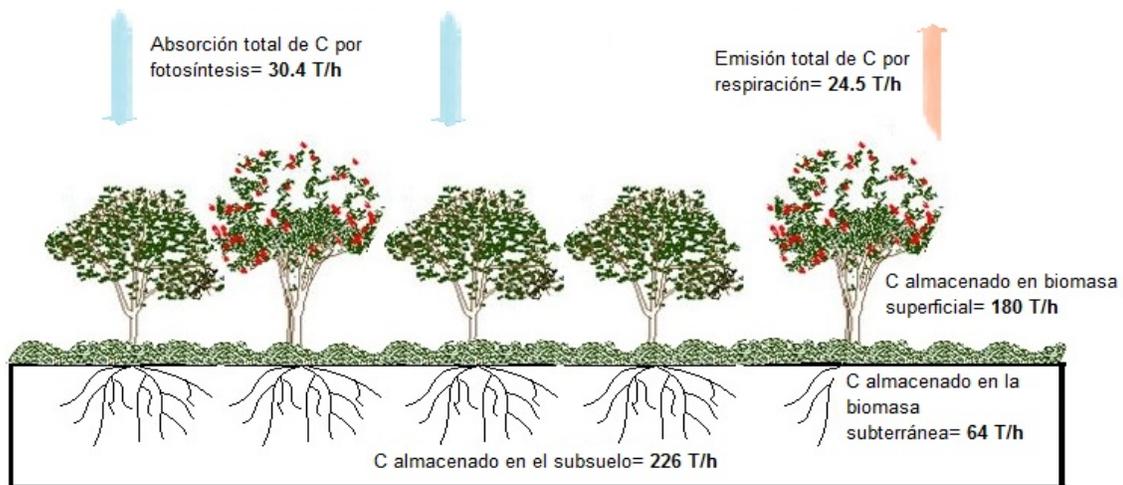
Nota: **Gt/C** = Gigatoneladas de Carbono.

A nivel global los bosques tropicales son considerados importantes sumideros de carbono, recientes investigaciones indican que, en el mundo la absorción de carbono anual es de alrededor de 1.3 Gt, el cual se estima que los bosques

tropicales de América Central y del Sur absorben 0.6 Gt, África 0.4 Gt y Asia cerca de 0.25 Gt (Lewis *et al.*, 2009).

En contexto la absorción del carbono en los bosques tropicales equivale aproximadamente el 15% de las emisiones de origen antrópico.

**Figura No. 1.2. Bosque tropical no perturbado**



Fuente: Malhi y Grace, 2000.

México cuenta con una superficie de 1, 964,375 km<sup>2</sup> de la cual el 49.5% se encuentra conformado por vegetación natural en óptimo estado (vegetación primaria), en el 2007. Ese mismo año se cuantificaron las diversas coberturas vegetales en donde un 26% de la superficie nacional se encuentra conformado por matorral xerófilo, 17.5% por bosques (34 millones de ha<sup>-1</sup>), 16.5% por selvas húmedas y subhúmedas (32 millones de ha<sup>-1</sup>); y 1.96% pastizal natural, halófilo y gipsófilo (SEMARNAT, 2012a).

El tipos de vegetación primaria en México con base en las series I,II,III y IV de INEGI, se observa un comportamiento descendente en la cobertura forestal con pérdidas de más del 10% (Ver Tabla No. 1.3).

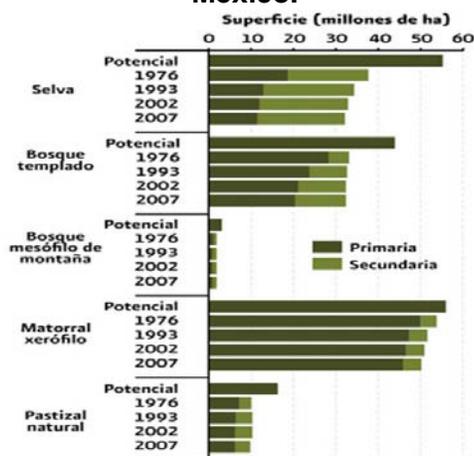
**Tabla No. 1.3. Superficie de Vegetación Primaria en México (1980-2007)**

	1980-90 Serie I	1993 Serie II	2002 Serie III	2007 Serie IV
Vegetación primaria	61.5%	54.6%	50.9%	50.0%

Fuente: INEGI. Información básica para la construcción de la tasa de deforestación México, 2008.

Como se observan en la tabla No. 1.3. presenta un comportamiento descendente de la superficie en los últimos años de los cuales los ecosistemas más afectados fueron las selvas y los bosques mesófilo de montaña seguido de los bosques templados, en el caso de los matorrales xerófilos estos se vieron menos afectados (Ver Figura No. 1.3).

**Figura No. 1.3. Vegetación primaria y secundaria por tipo de vegetación en México.**



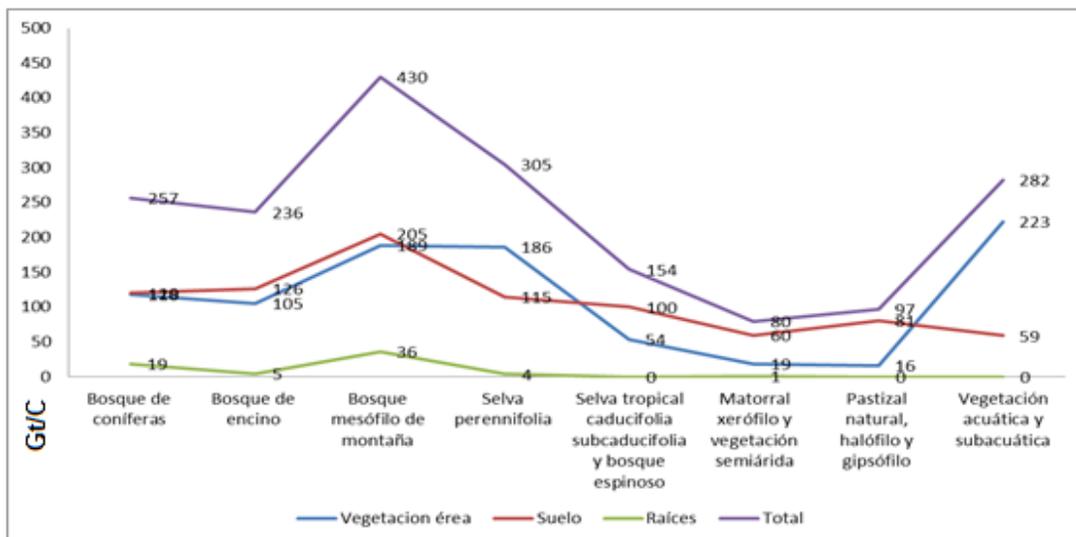
Fuente: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen\\_2009/02\\_ecosistemas/cap2\\_2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/02_ecosistemas/cap2_2.html).

Dentro del país se han realizado diversos estudios en cuanto a la estimación de carbono tanto en suelo como en cobertura forestal, un caso en particular se desarrolló en un bosque templado primario en San Juan Nuevo Michoacán, donde se reportó una acumulación total de  $254 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , el cual el 48% corresponde a la parte aérea y un 52% a la parte subterránea.

Se sabe que no todos los ecosistemas tienen la misma capacidad para almacenar carbono, los cuales influyen diversos factores bióticos y abióticos, que en conjunto afectan la cantidad y velocidad de captura de carbono tanto en suelo como en la cobertura vegetal.

Como se puede observar en la **Gráfica 1.1** los ecosistemas que almacenan más carbono son los bosques mesófilo de montaña seguido de la selva perennifolia. La mayor parte de este carbono se registra en suelo, en algunos casos representa más del 50% del carbono acumulado total en todo el ecosistema siempre que este no se vea afectado de forma natural o por acción del hombre.

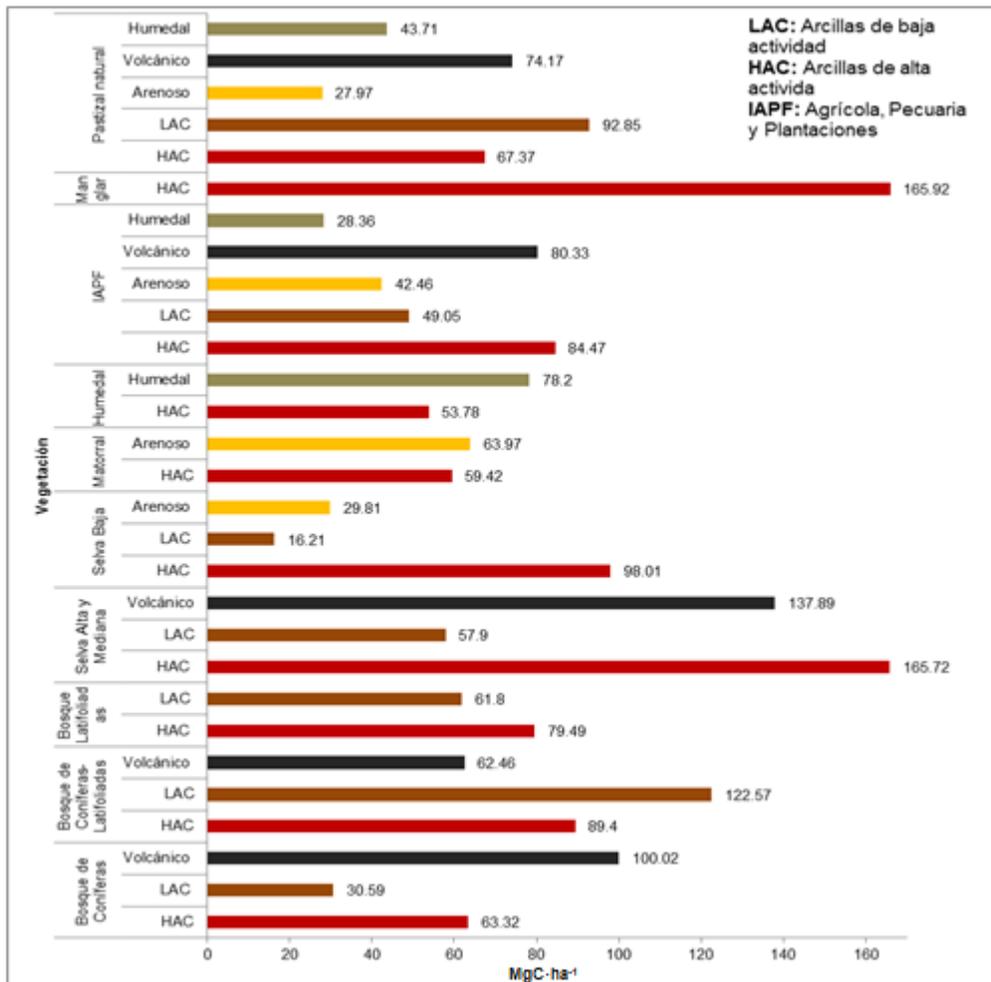
**Gráfica No. 1.1. Reservas de Carbono Mundial en Diferentes Tipos de Vegetación**



Fuente: IPCC (2000).

Al igual que el tipo de cobertura vegetal, el tipo de suelo influye en gran medida en una menor o mayor acumulación de carbono, a continuación se presentan diferentes tipos de suelo y la cantidad de carbono almacenado en diferentes coberturas forestales en estado primario en México.

**Figura No. 1.4. Carbono en diferentes tipos de suelo y tipos de vegetación primaria en México**



Fuente: Datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002.

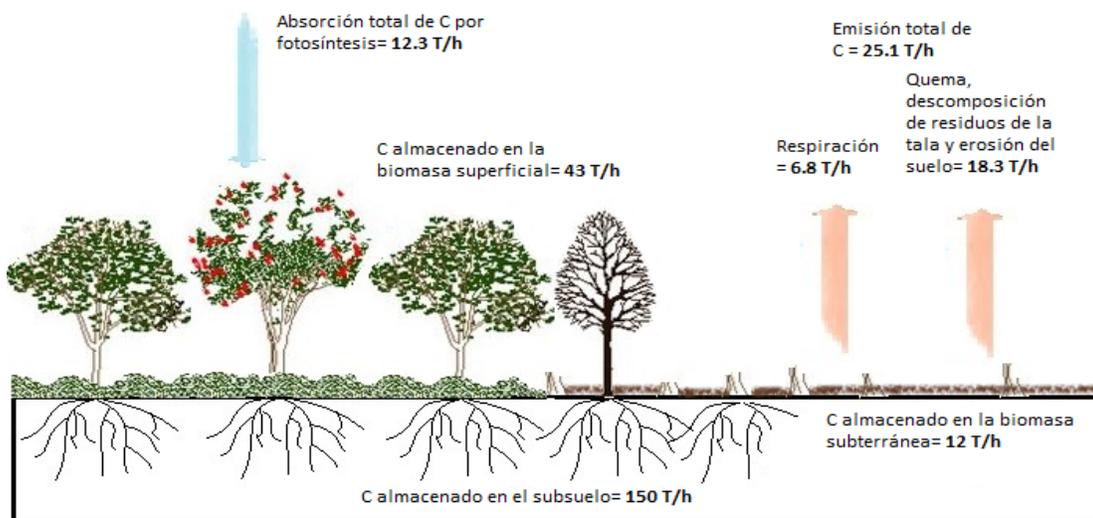
Como se observa en la Figura No.1.4 la mayor cantidad de carbono acumulado se registró en suelos arcillosos de alta actividad, principalmente en ecosistemas tropicales, (Selva Alta Media y Manglares), que en un promedio acumulan 165 MgC·ha<sup>-1</sup> en suelo, seguido de los suelos de origen volcánico, estos últimos presentes en selvas y bosques templados (Selva Alta Media y Bosque de Conífera). La menor acumulación se registró en suelos de arcillas de baja actividad y suelos arenosos, principalmente en pastizales y Selvas Bajas.

## 1.4. Ecosistemas manipulados por el hombre

### 1.4.1. Bosques secundarios

Las deforestación emiten a la atmósfera alrededor de 0.8-2.2 Gt de C al año (Houghton, 2005). Esto no sólo reduce las reservas de C en la vegetación, también las reservas de C en el suelo. La deforestación en los bosques tropicales en su mayoría se le asocia a la extracción de leña entre otros productos forestales.

**Figura No. 1.5. Bosque tropical después de 10 años de deforestación**



Fuente: Achard *et al.*, 2004; Trumper K, Bertzky M *et al.*, 2009.

La degradación del bosque se le atribuye cerca de 0.5 Gt anuales de emisiones adicionales de carbono a la atmósfera (Achard *et al.*, 2004).

Actualmente se estima que el 82% de la deforestación anual en México se debe a los cambios de uso del suelo, industrial y crecimiento urbano sin dejar de tomar en cuenta los incendios naturales e inducidos (CONAFOR, 2013).

Las principales causas de cambio de uso de suelo en el país en un periodo de 1993-2003 fueron las actividades agrícolas con cambios del 17.5%; uso pecuario con 17.5%; deforestación 7.4%; urbanización 1.5%; sobreexplotación de la vegetación 1.1%; actividades industriales 0.5% y el resto (54.8%) se encuentra sin degradación aparente (SEMARNAT- INE, 2012b).

En el caso de zonas forestales de clima cálido la vegetación secundaria se observa un incremento en su superficie (Ver Tabla No. 1.4.), gran parte se le asocia al abandono de tierras convertidas en usos agrícolas o pecuarios, este fenómeno sucede con mayor frecuencia en zonas rurales marginadas donde la población abandona su zonas de origen en busca de nuevas fuentes de trabajo.

**Tabla No. 1.4. Bosque tropical después de 10 años de deforestación**

	1980-90 Serie I	1993 Serie II	2002 Serie III	2007 Serie IV
Vegetación inducida y secundaria	19.5%	22.9%	24.9%	25.2%

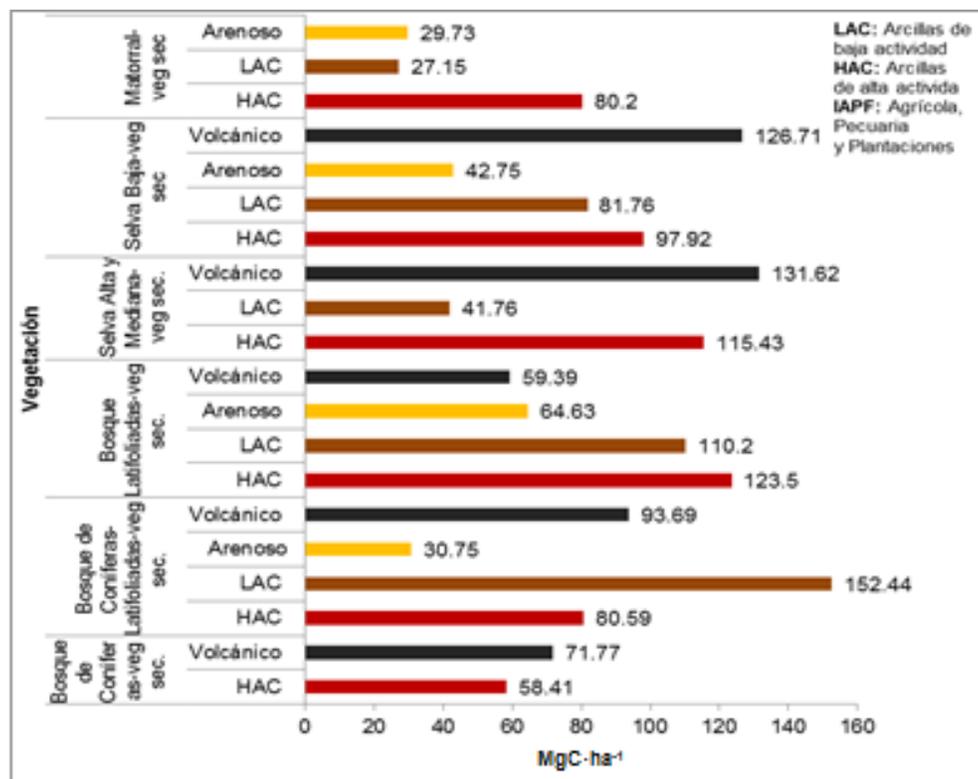
Fuente: INEGI. Información básica para la construcción de la tasa de deforestación México, 2008.

En 2007 las selvas fueron la más afectada, pues tan sólo alrededor de 36% de su superficie (11.5 millones de ha<sup>-1</sup>) correspondía a selva primaria. Tan solo en el 2002 al 2007 se perdieron en promedio 175 mil hectáreas anualmente, en el caso de los bosques el 62% (21 millones de ha<sup>-1</sup>) de su superficie permanece en condición primaria, con pérdidas anual de 7 mil hectáreas, la superficie vegetal con menor degradación corresponde a matorrales xerófilos con 8.5% (4.3 millones de ha<sup>-1</sup>) de su superficie estado primario y un cambio anual de 84 mil hectáreas a partir del 2002 (SEMARNAT-INE 2006).

En el caso del suelo sometido bajo vegetación secundaria, se observan pérdidas del 50% o más del acumulado en estado primario tanto en Selvas como Matorrales, en el caso de Bosques de coníferas y Latifoliadas se

observaron pocas pérdidas y en algunos casos con pequeños incrementos principalmente en suelos arcillosos de baja actividad, seguido de las arcillas de alta actividad.

**Figura No. 1.6. Carbono en Suelo en Diferentes Tipos de Vegetación Secundaria en México**



Fuente: Datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 – 2002 (SEMARNAT-INE 2006).

La mayor acumulación de carbono en suelos con vegetación secundaria se registró en bosques de Coníferas Latifoliadas con una acumulación de 152.4 MgC·ha<sup>-1</sup> en suelos arcillosos de baja actividad, seguido de selva alta y media y baja con 131.6-126.7 MgC·ha<sup>-1</sup> bajo suelos volcánicos, la menor acumulación de carbono se registró en bosques de Coníferas Latifoliadas, Selvas Bajas y Matorrales *bajo suelos arenosos* (Ver Tabla No. 1.6.).

### **1.4.2. Agrícola**

Conjunto de técnicas y conocimientos para cultivar la tierra destinada a la producción de alimento ya que en base al IPCC lo define como aquellas tierras de cultivo de temporal (anuales), permanentes (perennes) y como tierras en barbecho dejadas en reserva durante uno o varios años antes de volver a ser cultivadas.

La agricultura es una importante fuente de emisiones de GEI, con una contribución a nivel mundial del 30%. Las emisiones corresponden a un 25% de CO<sub>2</sub>, 50% a CH<sub>4</sub> y 70% a N<sub>2</sub>O por dicha actividad, sin embargo la innovación sustentable de nuevas prácticas de manejo en la producción agrícola puede contribuir a reducir las emisiones de GEI, transformándose a su vez en sumideros de C y N atmosférico, almacenándolo en la materia orgánica del suelo (Soil Classification Working Group, 1998).

**Sistemas agrícolas anuales:** Consisten en cultivos de gramíneas y leguminosas (cereales o legumbres y hortalizas), y se recolecta tanto el producto como los restos agrícolas todos los años, contrarrestando una importante fuente de carbono y protección al suelo contra la erosión hídrica o eólica.

**Sistemas agrícolas permanentes:** Se caracterizan por albergar árboles y matorrales combinados con cultivos herbáceos (agro silvicultura) o en su defecto constituidos por huertos, viñedos o plantaciones de cacao, café, té etc. excepto cuando tales tierras puedan ser clasificadas como tierras forestales. Almacenan grandes cantidades de C en la biomasa de larga duración siempre y cuando se tomen en cuenta características como el tipo de cultivo, la densidad, tasas de crecimiento, prácticas de gestión así como variables del suelo, clima, pendiente etc.

**Sistemas mixtos:** Habitualmente utilizados para cultivos anuales, se implementan temporalmente cultivos de forraje o de pastoreo con un sistema de rotación anual entre cultivos y pastos. Las reservas de C en el suelo pueden ser

significativas, esto se debe a variaciones en sus almacenes debido a las prácticas de manejo, particularmente el tipo de cultivo, rotación de cultivos, labranza, drenaje del suelo, y manejo de residuos.

### **Labranza del suelo**

Existen diferentes tipos de labranza clasificados de acuerdo a las técnicas de trabajo, estas son: labranza cero, labranza mínima y labranza convencional.

Labranza cero: No se realiza ninguna actividad mecánica en el terreno, se siembra el cultivo sin remover el suelo, presentando beneficios en la conservación y aumento de materia orgánica e inorgánica. Posteriormente los residuos de las cosechas son dejados sobre el terreno, con fines de fertilización, en algunos casos puede tener efectos desfavorables debido a un incremento en el contenido de agua desplazada, lo que genera que el suelo se va empobreciendo de oxígeno y a su vez se acidifica por efecto de la materia orgánica, y como resultado se genera emisiones de GEI (Dao, 1998).

Labranza mínima: Consiste en dar un paso de arado de disco o arado de cincel, sus beneficios consisten en proteger físicamente el suelo de la acción del sol, la lluvia y el viento, y alimentar la biota del suelo (materia orgánica y micro organismos).

Labranza convencional: Existen ligeras variaciones en cuanto a los insumos para la preparación del terreno. Tiene como propósito también el controlar las malezas haciendo uso de herbicidas u otras técnicas mientras tanto los residuos son recolectados para alimento del ganado.

**Tabla No. 1.5 Comparación de los tres sistemas de labranza en los componentes del suelo**

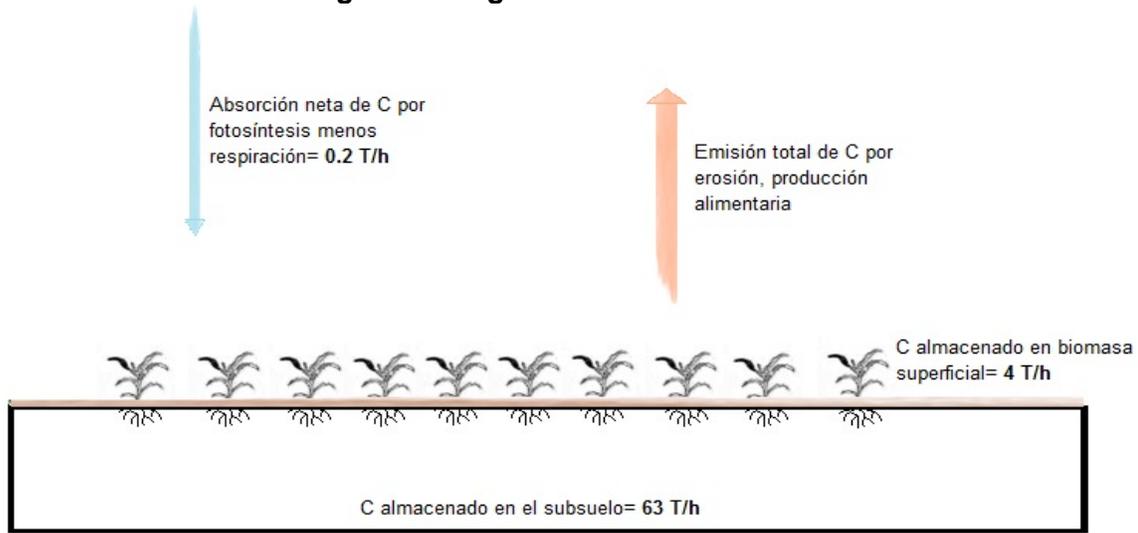
<b>Elementos del suelo</b>	<b>Labranza convencional</b>	<b>Labranza mínima</b>	<b>Labranza cero</b>
<b>Materia orgánica</b>	Se reduce su contenido en el suelo	Conserva la materia orgánica en el suelo	Conserva la materia orgánica en el suelo
<b>Estructura</b>	Produce compactación del suelo	No destruye la estructura del suelo	En suelos duros es difícil la agricultura
<b>Humedad</b>	Al voltear el suelo se pierde humedad	Conserva la humedad	En suelos pesados (barro) se encharcan
<b>Fertilidad</b>	Al acabar con la materia orgánica disminuye la fertilidad	Mantiene la fertilidad del suelo	Se mantiene
<b>Micro y Macro organismos</b>	La destruye	Se conserva	Se conserva

Fuente: Elaboración propia con base en información documental.

La adopción de métodos que requieren un menor uso de energía (maquinaria) tales como la labranza cero puede reducir el total de las emisiones de C. El manejo de los residuos de los cultivos es otro factor importante para capturar C en el suelo aumentando el contenido de la materia orgánica ya que según Angers *et al.*, (1995), los residuos de cultivos sobre la superficie se descomponen lentamente debido a un menor contacto con los microorganismos y el agua del suelo que aquellos incorporados por la labranza convencional. La quema de los residuos es otra técnica negativa, pero algunas veces ésta es mitigada por la gran estabilidad del carbono mineral.

Sin lugar a duda la agricultura es un importante emisor de C pero su vez es considerado como sumidero de C, siempre y cuando se tomen en cuenta variables como el, tipo de labranza, la rotación de cultivos, la adopción de sistemas agrícolas apropiados a las condiciones físico geográficas del lugar, gestión integral de nutrientes usando composta y estiércol, el compostaje, la gestión integral de maleza y plagas (Lal, 2008), e impulso de normas y programas de captura de carbono en zonas agrícolas.

**Figura: 1.7 Agricultura Convencional**



Fuente: Trumper K, Bertzky M *et al.*, 2009.

Algunos factores que intervienen en el aumento de carbono orgánico en el suelo en estos usos está en función de la tasa de descomposición de los residuos de las cosechas como raíces de las plantas y otros materiales orgánicos que retornan al suelo y, de la cantidad y composición de los mismos (Follett, 2001).

El C almacenado en el suelo corresponde cerca del 58% de la materia orgánica, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, fomentando el rendimiento de los cultivos (Herrick y Wander, 1998). Así mismo la diversidad y la actividad de la fauna (Microorganismos) del suelo están directamente relacionadas con la materia orgánica, el cual tienen una gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Robert, 1996).

En México alrededor de 56 millones de hectáreas (alrededor del 28% del territorio), fueron convertidos a terrenos agropecuarios, las cuales el 16.6% de su superficie se encuentra destinada a la agricultura, de esto el 74.1% corresponde a cultivos de temporal y 26% a cultivos de riego. Para el 2012 se incrementó su superficie de 4567,772 ha<sup>-1</sup> a 578,429 ha<sup>-1</sup>.

**Tabla No. 1.6 Superficie Agrícola Nacional 1980 - 2007**

	80-90 Serie I	93 Serie II	2002 Serie III	2007 Serie IV
Agrícola	17.7	20.7	22.2	23.3

Fuente: INEGI. Información básica para la construcción de la tasa de deforestación México, 2008.

Este incremento de la superficie agrícola, supone una relación directa en cuanto a la demanda de alimentos de una población en crecimiento.

Un caso de estudio en México sobre almacenes de captura de C en sistemas agrícolas se llevó a cabo en la regiones Mazateca, Cuicateca y Mixe de la Sierra Norte del Estado de Oaxaca, (Vargas *et al.*, 2004), en donde se reporta un almacén en sistemas agrícolas anuales de 274- 305 MgC·ha<sup>-1</sup> de los cuales más del 50% del C se almacenó en el suelo. En el caso de acahuals de escasa edad se obtuvo un almacén de 133 a 199 MgC·ha<sup>-1</sup>.

El sector agrícola tiene una capacidad de mitigación de 20 MgC·ha<sup>-1</sup>, tomando en cuenta las prácticas de manejo y el tipo de cultivo, representarían un aumento no solo de C si no en la productividad de alimentos debido a la fertilidad de estos.

Actualmente, el abandono de tierras agrícolas potencializa a su vez el desarrollo de bosques secundarios, con una mayor incidencia en zonas marginadas de países tropicales (Aide y Grau, 2004).

### **1.4.3. Pecuario**

La conversión en tierras destinadas a otros antrópicos puede afectar de igual forma las reservas de carbono. La conversión en tierras agrícolas y praderas suele producir una pérdida neta de carbono de la biomasa y en suelo.

Los sistemas de producción animal, en particular los rumiantes, pueden constituir fuentes de emisiones no solo de C también las de otros gases por ejemplo la fermentación entérica que se produce en los sistemas digestivos de los rumiantes conlleva a la producción y emisión de CH<sup>4</sup> (Hristov, 2013).

Esta categoría comprende los pastizales y la tierra de pastoreo que no se considera tierra agrícola, también comprende sistemas con vegetación inferior al umbral utilizado en la categoría de tierras forestales.

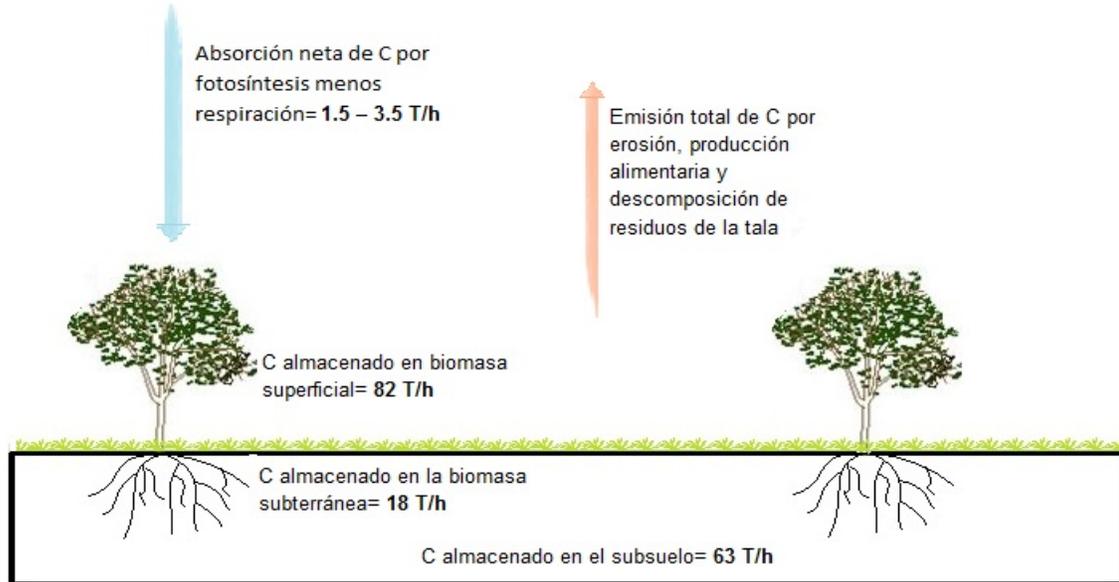
Esta categoría comprende asimismo todas las praderas, desde las tierras incultas hasta las zonas recreativas, así como los sistemas agrícolas y de pastoreo. En las praderas suele predominar la vegetación perenne, utilizada sobre todo para pastar, y se diferencian de los bosques por tener un dosel arbóreo inferior al umbral utilizado para la definición de bosque.

En las praderas suelen tener un alto contenido de carbono en el suelo, mayor que otros tipos de vegetación, principalmente en las raíces y en la materia orgánica de los suelos.

De igual forma el pastoreo y los incendios son perturbaciones habituales con las que han evolucionado las praderas; por consiguiente tanto el carbono en vegetación como en suelos son relativamente resistentes a las alteraciones moderadas causadas por los regímenes de pastoreo y de incendio (Milchunas y Lauenroth, 1993).

Sin embargo Houghton (1995), menciona que las emisiones por el incremento del pastoreo y las tierras cultivadas fueron cerca de 140 Gt/Año entre 1850-1990.

**Figura: 1.8 Sistema agroforestal**



Fuente: Kirby y Potvin, 2007; Trumper K, Bertzky M *et al.*, 2009.

En México el 14.9% de la superficie del país se encuentra constituida por pastizales destinados a las actividades pecuarias, presenta una distribución que va de un 28% en los trópicos, 23% en la zona templada y 49% en áreas desérticas o semidesérticas.

Se han identificado diferentes proyectos que toman en cuenta un potencial de mitigación en uso pecuarios estimado alrededor de 5.1 Mg CO<sub>2</sub>, el mayor potencial corresponde a proyectos de manejo de residuos pecuarios (3.5 MgC·ha<sup>-1</sup> anuales).

### 1.5. Cubierta Vegetal y Carbono en Selva Baja Caducifolia

La Selva Baja Caducifolia (SBC) conocida también como bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1986), representa el 42% de los ecosistemas tropicales a nivel mundial, se distribuye desde la Costa del Pacífico, pasando por los estados de Baja California Sur, Sonora, Nayarit, hasta Oaxaca, y parte de la península de Yucatán (Ver Figura No. 1.9.).

**Figura No. 1.9. Distribución de la Selva Baja Caducifolia en México**



Fuente: Rzedowski, (2006).

Presenta un clima caliente y húmedo con larga temporada con temperaturas que van de los 20-29 °C, con una precipitación de 300-1800 msnm. Se distribuye en promedio a una altura que van de los 0-1900 msnm, asentados en laderas en suelos someros alcalinos (Rzedowski, 1991), presenta una estación climática muy marcada, presentando una vegetación exuberantemente verde en los meses de lluvia (junio a septiembre), contrastándola con la época de secas en los meses de octubre a mayo, donde más del 75% de las especies arbóreas pierden sus hojas. Algunos de estos árboles no sobrepasan los 12 metros de altura, pero al igual que una selva tropical, la variedad de especies es alta, abarcando un 40% de plantas endémicas de México que una selva tropical húmeda con un 5% de plantas endémicas (Rzedowski, 1991); aunque estudios recientes revelan un mayor porcentaje del 55% de especies vegetales por su parte Maldonado (1997), afirma que a nivel nacional es donde se obtiene un alto número de plantas medicinales.

Cuenta con una superficie de 14166077 ha<sup>-1</sup> (7.28%) del territorio nacional de las cuales 6591462 ha<sup>-1</sup> (3.38%) han sido clasificadas como vegetación primaria y 7574615 ha<sup>-1</sup>(3.9%) como vegetación secundaria, esto en el 2007. En el Estado de México ocupa una superficie de 87789 ha<sup>-1</sup> (9.8% de la superficie estatal) distribuido hacia el sur de estado (Orozco Hernández *et al.*, 2011. Retomado de Ceballos *et al.*, 2008).

Son los ecosistemas con mayor presión antropogénica, de acuerdo con Janzen (1988) y López (2006), es considerado el tipo de vegetación tropical con mayor peligro de desaparecer. Presenta pérdidas en su superficie del 7% de los cuales el 84% se le asocia a la actividad agrícola seguida de los pastizales con un 16%, y 1% se le asocio a las zonas urbanas. Asimismo, en aquellas zonas que alguna vez fueron afectadas por los cambios de uso de suelo y posteriormente han sido restauradas de forma natural o por reforestaciones, Dixon *et al.*, (1994) afirma un incremento en la captura de carbono en bosques secundarios, siendo una alternativa optima en la captura y mitigación de C, pero en cuanto a los almacenes de C en suelo éste se ve afectado, ya que algunos autores afirman que en la regeneración de los bosques tropicales los almacenes de C en suelo son significativos (Brown y Lugo, 1990; Guo y Gifford, 2002; Gueye 2010).

En México, el almacén y potencial de mitigación de C dependen en gran medida del estado de conservación de cada ecosistema forestal. En 1990 la superficie forestal de una SBC (Selva Baja Caducifolia) fue de 15,338 ha<sup>-1</sup>, sin perturbación almacenó alrededor de 2.4 Gt de C (SARH 1994, Masera *et al.* 1997 y 2001) de los cuales almaceno 104-174 MgC·ha<sup>-1</sup>, y en algunos casos de 73 -122 MgC·ha<sup>-1</sup> en zonas en reforestación.

Manzano y Hernández, (2008) estiman un potencial de captura de C en SBC de 157.4 MgC·ha<sup>-1</sup> anuales, el cual la mayor parte se almacenó (más del 33%) en el suelo y el resto (77%) se encuentra distribuido en la parte arbórea (Hierbas, ramas, arbustos y árboles). Por su parte, Estrada *et al.*, (2009)

estiman un promedio de biomasa aérea en SBC de  $47.27 \text{ Mg ha}^{-1}$ , con un contenido de carbono aéreo de  $23.63 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Jaramillo (2003), reporta una acumulación de carbono en selvas secas en la Región de Chamela de  $141 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , el cual el 41% se encuentra acumulado sobre el suelo y el 59% bajo el suelo, asimismo reportó una acumulación de carbono en pastizales en dos sitios de nombre La Vista (4 años), y Don Mario (13 años), dentro de la Región Chamela; en cada sitio se cuantificó una acumulación de carbono aéreo de  $10-9.1 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , mientras en la parte subterránea se reportó una acumulación de  $94-99 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , en suelo a una profundidad de 60 cm, con un total acumulado de  $106-110 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Otros casos de estudios de SBC dentro del país, afirman un potencial de capturar de carbono del 150% más de su peso anualmente en carbono, a diferencia de una selva tropical que solamente capturar 10% del peso anual ((SEMARNAT-CONANP 2013).

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se darán a conocer los fundamentos de la investigación, en el que involucra el planteamiento del problema, justificación, objetivos e hipótesis. Posteriormente se describen los instrumentos y técnicas para la cuantificación de carbono en Selva Baja Caducifolia en diferentes reservorios, sometidos a diferentes usos de suelo.

#### 2.1. Planteamiento del problema

En el transcurso del tiempo, el hombre ha logrado aprovechar los recursos naturales con el fin de satisfacer sus necesidades básicas, primordialmente para la producción de alimentos. La agricultura tiene su origen alrededor del 10,000 a. C, convirtiéndose en el principal medio para obtener alimentos, transformando tierras forestales a uso agrícola o pecuario, asegurando la subsistencia de la humanidad con un crecimiento exponencial (Robert *et al.*, 2001).

Los cambios de uso de suelo son considerados también como ecosistemas artificiales o agroecosistemas, es decir aquellas zonas naturales manipuladas o alteradas por el hombre con fines comunes, cuyas consecuencias son la alteración de paisajes naturales y en casos extremos la pérdida total de un ecosistema, a pesar de ello estos ecosistemas presentan ciertas restricciones para su explotación. Zimmermann (1933), señala que, *“los recursos naturales presentan resistencias que impiden al hombre que no sean fáciles de explotar”*, esto hace alusión a que antiguamente no se contaban con tecnologías sofisticadas y tan sólo se aprovechaba lo indispensable para subsistir; pero el rápido crecimiento poblacional generó la necesidad de desarrollar nuevas herramientas que permitiesen vencer dichas resistencias con el fin de

aprovechar estos recursos; no obstante aunado a un mal manejo y explotación irracional, han generado consecuencias irreversibles para el ambiente.

Existen diferentes reservorios de carbono como lo son la atmósfera, biósfera, suelo, oceánico, y geológico (combustibles fósiles); los reservorios más dinámicos, y aquellos que interactúan con los demás reservorios son el reservorio suelo y biosfera, dichos reservorios se encuentran al alcance del hombre al ser manipular (Usos de Suelo y Zonas Forestales) generando un aumento o disminución del almacenes de C.

La pérdida de vegetación por cambios de uso de suelo genera no sólo la pérdida de suelo y nutrientes, libera a su vez CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), N<sub>2</sub>O (Óxido Nitroso) y CH<sub>4</sub> (Metano), a estos se le asocia la utilización de fertilizantes químicos dentro de las actividades agrícolas, emitiendo N<sub>2</sub>O a la atmósfera, la quema de residuos agrícolas y los cambios de usos de suelo aumentan los niveles de CO<sub>2</sub>, y finalmente las actividades pecuarias son fuentes de emisión de metano (CH<sub>4</sub>).

Por su parte el CO<sub>2</sub>, es el principal GEI con mayor concentración en la atmósfera. Como solución natural se hace énfasis en ecosistemas forestales como mitigadores de C por ello la estimación de C permite conocer a su vez el estado actual de un ecosistema, aunado al potencial de captura que pueda almacenar, esto debido a que no todos los ecosistemas tanto naturales como antropogénicos tienen la misma capacidad de almacenar C, dependen en gran parte una serie de factores como el tipo de especie, edad, densidad, tipo de suelo, clima y uso actual. Pero para poder estimar el C almacenado en un ecosistema (Natural o Antrópicos) es necesario estimar la biomasa vegetal, la cual aporta información importante sobre su estado de conservación así como el aprovechamiento que ha tenido en el transcurso del tiempo. Por lo tanto, la biomasa juega dos papeles importantes, como fuente de emisión y como medio de almacenamiento de gases de efecto invernadero (Escobar, *et al.* 2008). Las tierras forestales convertidas en tierras agrícolas o pecuarias se ven afectadas

tanto en los factores bióticos (flora y fauna) como abióticos cuyos efectos se ven reflejados en la pérdida de servicios ambientales, en este caso captura de carbono.

Se pretende llevar a cabo esta investigación en un ecosistema tropical seco, debido a que cuentan con una alta capacidad para el secuestro y retención de CO<sub>2</sub> en biomasa a corto plazo, esto en comparación con ecosistema de climas templados (Bosques de Coníferas), el cual alberga una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> largo plazo, convirtiéndolos en ecosistemas vulnerables ante una alteración antropogénica.

Se eligió a localidad del El Suchual de Santa Ana, Municipio de Tlatlaya, Estado de México, debido a que en él encontramos un ecosistema de Selva Baja Caducifolia, además de contar con el apoyo y autorización de la localidad el Suchual. Así mismo es una zona afectada por los usos antrópicos, ya que en el transcurso de su historia el municipio ha experimentado diferentes cambios de usos de suelo (agrícola y pecuario) en el que gran parte de la SBC ha sido modificada por actividades pecuarias, seguido del uso agrícola tradicional de subsistencia. Otro dato importante el bajo número de habitantes en relación a la superficie municipal, es decir por cada 1 habitante existen 2 ha<sup>-1</sup>, el cual es común encontrar zonas abandonadas (acahuales) y reforestadas de forma natural. La zona de estudio presenta fuertes pendientes de entre 30° a 45° en un suelo poco desarrollado (Regosoles), y muy erosionado como resultado de la actividad pecuaria y agrícola, con precipitaciones de 260 y 270mm muy marcadas en los meses de junio a septiembre.

La finalidad de estimar el carbono aéreo y subterráneo en una Selva Baja Caducifolia y sometida a actividades antropogénicas, consiste en determinar el comportamiento de los almacenes de carbono ante alguna perturbación antrópico, se ha observado en otro tipo de ecosistemas forestales una inmediata pérdida de carbono aéreo y subterráneo, seguido de una lenta recuperación, el cual se pretende observar una recuperación de carbono en la

Selva Baja Caducifolia sometida a diferentes usos de suelo, es decir la facilidad de adaptarse y regenerarse ante cambios antrópico.

## **2.2. Justificación**

Gran parte de las investigaciones sobre captura de carbono están enfocadas a ecosistemas templados (Bosques de Coníferas, Mesófilo de Montaña), esto debido a un mayor cantidad de C (Carbono) almacenado en la parte subterránea y arbórea, menospreciando aquellos ecosistemas de clima cálido, húmedo seco. Estudios recientes afirman que dichos ecosistemas cuentan con un menor almacén de carbono tanto en suelo como en biomasa, esto como resultado de la rápida descomposición de la necromasa y posteriormente gasificación de CO<sub>2</sub> como resultado del clima, impidiendo que se tenga un incremento de carbono almacenado en suelo, esto en comparación con otros ecosistemas de clima templado, en donde los procesos de descomposición de la necromasa es más lento.

La falta de información y profundidad de trabajos realizados sobre métodos y técnicas de captura de carbono en Selva Baja Caducifolia, han sido rezagados drásticamente, por su parte Miranda y Hernández, 1963; Janzen, 1988, consideran este tipo de vegetación tropical con mayor peligro de desaparecer.

La importancia y beneficios que pueden proporcionar estos ecosistemas a la población, tanto ambientales como económicos, resultan ser fuentes importantes de regulación o sumidero de C a corto plazo, esto gracias a su alta capacidad de regeneración ante alguna perturbación antropogénica aunado a los servicios ambientales que brinda, albergando a su vez una alta biodiversidad de especies endémicas tanto de fauna como de flora, este último con fines medicinales aún desconocidos por la comunidad científica.

## **2.3. Materiales y Métodos**

En este apartado se describen los instrumentos y técnicas para la clasificación y cuantificación de carbono sobre el suelo y bajo el suelo, en dos zonas forestales con diversos grados de perturbación y dos usos de suelo (agrícola y pecuario) en Selva Baja Caducifolia.

### **2.3.1. Clasificación usos de suelo**

Se seleccionaron cuatro zonas, las cuales involucran dos zonas forestales con diferentes grados de conservación basándose en el tiempo que ha sido zona forestal y dos con actividad pecuaria y agrícola.

De acuerdo con Álvarez (2013) y Wadsworth (2000), se le denomina aquellos ecosistemas con una perturbación, ya sea de origen natural (por fenómenos atmosféricos, geológicos, etc.), o bien por la acción del hombre como actor principal.

En cuanto a la clasificación de los usos con cobertura forestal, ésta se basó en el tiempo que ha sido zonas forestales.

**SBC<sub>67 años</sub>**: Este sitio hace aproximadamente 65-67 años su uso fue agrícola, actualmente presenta vegetación abierta, con ejemplares que alcanzan 3 a 5 metros, la densidad de cobertura arbórea es de entre 40%, con predominancia de árboles maduros.

**SBC<sub>10 años</sub>**: Como resultado de la tala y abandono de las tierras con uso agrícola de hace 10 años, esta zona presenta una gran número de herbáceas (secundaria). La altura forestal máxima es de tres metros, puede ser sustituida o no por una fase arbustiva, presenta una densidad arbórea mayor al 15% que con el tiempo puede dar lugar a la formación de la vegetación original.

**Pecuario:** Se caracteriza por ser pastizal desde hace 18 años, con una rotación del ganado (vacuno y caprino) entre pastizales en los meses de lluvia y en época de estiaje dentro de zonas forestales y agrícolas.

**Agrícola:** Zona agrícola tradicional o de subsistencia desde hace 47 años, el cual se hace uso de coa (palo afilado o pala estrecha plana y afilada), como resultado de las condiciones topográficas irregulares presentes en la zona. Se encuentran sometidas a temporadas de descanso en promedio de un año por cada parcela, sembrando en su totalidad maíz para autoconsumo.

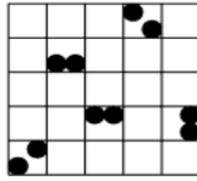
### **2.3.2. Método de Muestreo**

El muestreo es una herramienta indispensable para el investigador, permite caracterizar la zona de estudio de interés (población o universo) basándose previamente en contenido de información acerca de la muestra, y posteriormente, es examinado con la finalidad de hacer una deducción y revelar información sobre la población a estudiar. La obtención de una muestra adecuada consiste en lograr una versión simplificada de la población, que reproduzca de algún modo sus características básicas (Ovalles, 1999).

Con el fin de determinar el C almacenado, tanto en la parte arbórea y subterránea en los diferentes usos de suelo, se utilizó un muestreo anidado de cluster (Hughes *et al.*, 1999; Jaramillo *et al.*, 2003; Álvarez *et al.*, 2013).

Este diseño es útil cuando las escalas espaciales no son conocidas o no pueden ser deducidos fácilmente por la superficie y el relieve, en otras palabras existe desconocimiento sobre la población que se va a estudiar. El muestreo anidado busca repetir el muestreo de forma aleatoria con el fin de garantizar a cada unidad un potencial muestreo, de tal forma que tenga la misma posibilidad de ser seleccionada con el fin de cubrir un rango completo de escalas (Ovalles, 1999).

**Figura No. 2.1. Muestreo Anidado o de Cluster**



Fuente: Peña 2006.

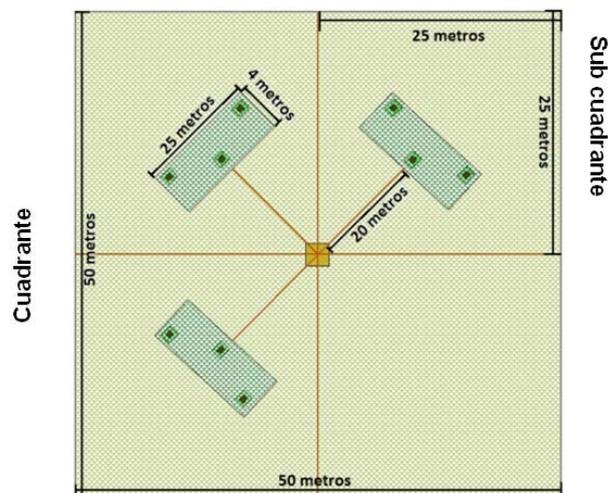
Ventajas: Permite detectar el patrón (estructura) de variación de un suelo, cuando éste es desconocido y no puede ser inferida su escala por la superficie, puede ser utilizado como muestreo preliminar, permitiendo estimar la distancia de muestreo más eficiente, ofrece indicadores acerca de las variables más convenientes para distinguir unidades de suelo.

Desventajas: Requiere de un estricto esquema del trabajo de campo, el muestreo es distribuido desigualmente entre los diferentes intervalos, esto implica que existan pocas repeticiones para las variaciones de largo alcance (pobre estimación) y un sobre muestreo a cortas distancias (innecesariamente intenso). La selección de las distancias de muestreo es lamentablemente algo arbitraria. El uso de las distancias incrementadas geométricamente grandes saltos entre los intervalos de muestreo.

### **Cuantificación de carbono en biomasa y suelos**

Para los fines de esta investigación se consideró el método de muestreo Anidado o de Cluster, propuesto por Álvarez *et al.*, 2013 (Figura No. Figura: 3.1) donde se determinó el contenido de carbono en el estrato aéreo (biomasa de árboles, herbáceas y mantillo) y subterráneo (raíces y suelo) bajo cuatro diferentes zonas en Selva Baja Caducifolia.

**Figura No. 2.2. Muestreo anidado implementado en selva baja caducifolia**



Fuente: Álvarez 2013.

- 0.25 m<sup>2</sup> Biomasa en Mantillo
- m<sup>2</sup> Biomasa de Hierbas y Arbustos
- Perfil

### **Carbono en biomasa arbórea**

La cuantificación de carbono en cada sitio a estudiar se trazó un cuadrante (50 m<sup>2</sup> X 50 m<sup>2</sup>) de 2 500 m<sup>2</sup>, y se subdividió en sub cuadrantes (25 m<sup>2</sup> X 25 m<sup>2</sup>) de 625 m<sup>2</sup>, para la determinación de carbono en biomasa. En cada sub cuadrante se llevó a cabo un inventario de los árboles vivos y muertos, existentes, donde se cuantificaron aquellos árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP 1.3 m) mayor a >5 cm (Álvarez, 2013).

Posteriormente se aplicó una ecuaciones alométricas descritas por Brown *et. al.*, (1989) para Selva Secas, el cual a continuación se describe.

Ecuación Alométrica Para Selvas Secas: **BA= 34.4703-8.0671\*D+0.6589\*D2.**

Donde

BA: Biomasa Arbórea.

D: Diámetro Normal.

D2: Diámetro Normal al cuadrado.

El resultado total de los 4 sub cuadrantes (2500 m<sup>2</sup>) fue multiplicado por 4 para obtener la biomasa en kilogramos por hectárea, posteriormente de haber obtenido, el resultado fue dividido entre 1000 para transformar los kilogramos a toneladas por hectárea = Megagramos por hectáreas (MgC·ha<sup>-1</sup>).

BA en hectáreas: (BA en 2500 m<sup>2</sup>) 4.

BA en toneladas: BA en Kg / 1000.

El total de biomasa fue transformado a carbono, el resultado fue multiplicado por factor 0.4809 (48%) para selvas secas. Este factor se define que, el carbono almacenado en la biomasa corresponde a la mitad, esto dependiendo del tipo de ecosistema a estudiar, el factor puede variar. Este proceso se realizó por cada uso de suelo con cobertura forestal.

C: BA X 0.4809.

#### Carbono en Necromasa

Para la determinación de carbono en necromasa (árboles muertos), se realizó nuevamente un inventario de individuos muertos tanto en pie como en el suelo, midiendo la longitud y el diámetro > 3 cm, posteriormente se determinó el volumen por cada individuo y el resultado fue multiplicado por la densidad de la madera en el caso de una Selva Baja Caducifolia para diámetros de entre 5-7.5 la densidad de la madera es de 0.71 g/cm<sup>3</sup> y para diámetros > 7.5 corresponde a 0.61 g/cm<sup>3</sup> (Jaramillo *et. al.*, 2003). Posteriormente aplicando la formula descrita por Schlegel *et. al.*, (2001) se aplicó la siguiente ecuación.

BA:  $AB \text{ m}^2 \times \text{Altura m} \times \text{DM (kg/m}^2\text{)}$ .

Donde

BN: Necromasa.

$AB\text{m}^2$ : Área Basal en metros cuadrados.

DM: Densidad de la madera en kilogramos por metros cuadrados.

Siguiendo el mismo procedimiento para el cálculo de la biomasa a carbono en árboles vivos el resultado final fue multiplicado por factor 0.4809 para selvas secas.

Carbono en herbácea + arbustos.

Para el muestreo de herbáceas y arbustos se establecieron dentro de tres sub cuadrantes un rectángulos de 25m X 4 m distribuidos de forma concéntrica a una distancia de 20 m del eje del cuadrante; en cada rectángulo se distribuyeron 3 cuadros de un 1 m<sup>2</sup> (Ver Figura No. 2.2.), en donde se recolectan solamente las herbáceas, sumando un total de 9 muestras por cada uso de suelo a acepción del uso agrícola.

Todo el material colectado fue depositado en bolsas de papel y etiquetado con su descripción, ejemplo Selva Baja Caducifolia cuádrate uno herbáceas uno (SBC1/Y1/H1).

El material colectado fue registrado su pesado en fresco, restando previamente el peso de la bolsa (Peso Húmedo), posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio donde fueron puestas en una estufa de secado a 80 °C por 48 horas.

Nuevamente se pesaron las muestras en seco donde el resultado corresponde al peso total de biomasa, posteriormente el peso de cada muestra fue multiplicado por el factor 0.5, obtiene el carbono total en 1m<sup>2</sup>. Para el cálculo de C herbáceo en una hectárea se aplicó la siguiente ecuación descrita por Álvarez, (2013).

$\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ :  $(\text{PS} \times 10\,000/1\text{m}^2)/1000.000$ .

Donde

$\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ : Megagramos de carbono por hectárea.

PS: Peso seco.

10 000: Hectáreas.

$1\text{m}^2$ : Superficie de herbáceas recolectadas ( $1\text{m}^2$ ).

1000.000: Gramos – Kilogramo – Megagramos.

### **Mantillo**

Para la determinación de carbono en mantillo, se utilizó el cuadro donde se recolectaron las herbáceas en donde se trazó otro cuadro más pequeño de  $0.25\text{ m}^2$  en el recolecto el mantillo en tres sitios, obteniendo nuevamente un total de 9 muestras por cada uso de suelo el material colectado fue empaquetado, registrado (SBC1/Y1/M1) y pesado.

El material recolectado fue llevado al laboratorio donde fue puesto en una estufa de secado a  $80\text{ }^\circ\text{C}$  por 48 horas, el peso resultante fue multiplicado por factor 0.5 para la determinación de carbono en mantillo. Para el cálculo de carbono en mantillo por hectárea se aplicó la misma ecuación en herbáceas descrita por Álvarez, 2013.

$\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ :  $(\text{PS} \times 10000/0.25\text{m}^2)/1000.000$ .

Donde

$\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ : Megagramos de carbono por hectárea.

PS: Peso seco.

10 000: Hectáreas.

$0.25\text{ m}^2$ : Superficie de mantillo recolectado ( $0.25\text{m}^2$ ).

1000.000: Gramos – Kilogramos – Megagramos.

## **Determinación de carbono bajo el suelo**

Para la determinación de carbono orgánico en suelos se realizó el muestreo en los mismos sitios donde se recolectó el mantillo las herbáceas a una profundidad de 20 cm, con una pala se tomaron 9 muestras de suelo por sitio para la cuantificación de carbono orgánico, las muestras colectadas (aproximadamente un kilo) fueron empaquetadas y etiquetadas (ejemplo SBC1/Y1/S1), para su traslado y procesamiento en el laboratorio.

Para la cuantificación de carbono orgánico en el suelo se debe considerar la densidad aparente y profundidad, para ello en el centro de cada cuadrante se realizó un perfil en donde se describió cada horizonte a 1 m de profundidad promedio (La profundidad del perfil varió dependiendo al estado de conservación del suelo); en los mismos sitios de muestreo del mantillo se tomaron muestras con un Nucleador de  $268,22 \text{ cm}^3$  de volumen para el cálculo de la densidad aparente del suelo, para este análisis se realizaron tres repeticiones por cada horizonte, mismas que fueron etiquetadas (ejemplo SBC1/DA1) y trasladadas al laboratorio para su posterior análisis.

### ***Trabajo en el laboratorio:***

Las muestras se registraron en la bitácora del laboratorio y se pusieron a secar a la sombra por 10 días, después se procedió a triturar con un mazo de madera los “peds” (*agregado natural del suelo*), y se pasó por un tamiz de 2 mm de abertura, los fragmentos de roca presentes en el suelo, fueron retirados junto con la materia orgánica gruesa, se pesaron para realizar los cálculos de densidad aparente del suelo (D.A.), el suelo tamizado fue envasado para su posterior análisis.

### **Densidad Aparente**

Para la determinación de densidad aparente del suelo se basó el método del cilindro.

*D.A por el método del cilindro:* Conociendo el volumen del cilindro del nuclueador  $268.22 \text{ cm}^3$ , se procedió a pesar el suelo y se le restó el peso de los fragmentos de roca + restos orgánicos como resultado del proceso de tamizado de 2 mm obteniendo como resultado el peso total del suelo.

Fórmula para la determinación de D.A.

D.A:  $\text{Peso del suelo} / \text{Volumen} = \text{gm/cm}^3$ .

### **Materia Orgánica**

Para la determinación de la materia orgánica se utilizó el método de Walkley y Black.

### **Carbono en raíces**

Para la estimación de carbono total en raíces se utilizó un dato teórico generado a partir de la relación raíces/biomasa aérea = 0.19 propuesto por Jong *et al.*, 1999.

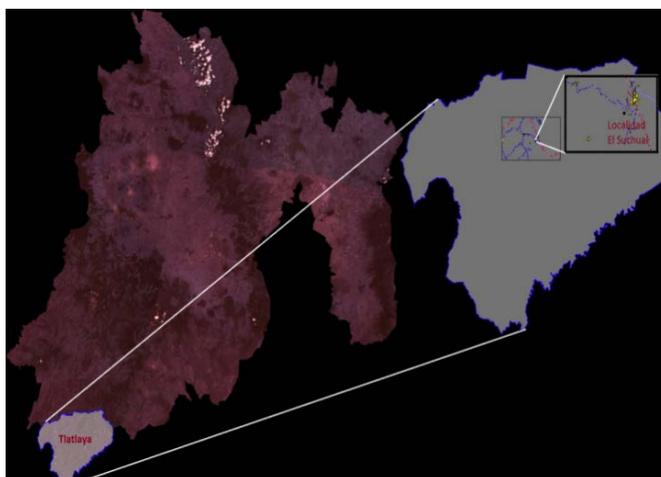
## CAPÍTULO III CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se describe las características físicas geográficas y sociales tanto a nivel municipal como local, este último con un mayor énfasis. Valiéndose de datos estadísticos, mapas y entrevistas realizadas en la localidad con el fin de conocer el estado actual de la zona, permitiendo obtener en un primer acercamiento aquellos factores que intervienen en la acumulación o disminución de carbono.

### 3.1. Localización del municipio de Tlatlaya

El municipio se localiza al suroeste del Estado de México entre las coordenadas geográficas con longitud mínima de  $100^{\circ}04'07''$  y máxima  $100^{\circ}26'47''$  y con una latitud mínima  $18^{\circ}21'57''$  y máxima  $18^{\circ}40'37''$  (IGECEM 2011).

**Figura No. 3.1. Localización Municipio de Tlatlaya**



Fuente: Elaboración propia con base en imagen satelital EDOMEX\_SAT consultado el 17 de Enero de 2013.

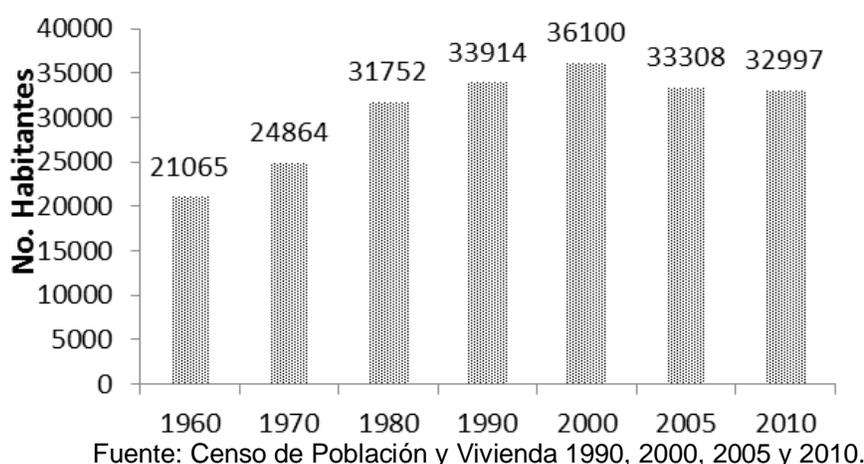
El Municipio de Tlatlaya colindada con el municipio de Amatepec al norte, al sur, poniente y oriente con el Estado de Guerrero. La altura máxima es de 1840 msnm (metros sobre el nivel del mar) ubicado en la cabecera municipal, y disminuye gradualmente hacia el sur hasta llegar a los 700 msnm.

Tiene una superficie territorial de 798.92 km<sup>2</sup> (79892 ha) y ocupa el 3.55% de la superficie Estatal, siendo el municipio más grande el Estado. Se encuentra dentro de la Región X Tejupilco que integra además a los municipios de Luvianos, Amatepec y Tejupilco.

### 3.2. Demografía

Cuenta con una población de 32,997 habitantes (INEGI, 2010) y 175 localidades (Plan de Desarrollo Municipal de Tlatlaya 2009 – 2012). En el transcurso del tiempo, el municipio ha tenido incrementos y declives en su población total, dicho comportamiento se sustentan en la recopilación de información demográfica sobre el municipio a partir de 1960 al 2010, como observa en la Gráfica No.3.1, el municipio obtuvo un incremento paulatino de población desde el 1960 al 2000, alcanzó un total de 36100 habitantes, seguida de una pérdida de población, hasta el 2010 con 32997 habitantes.

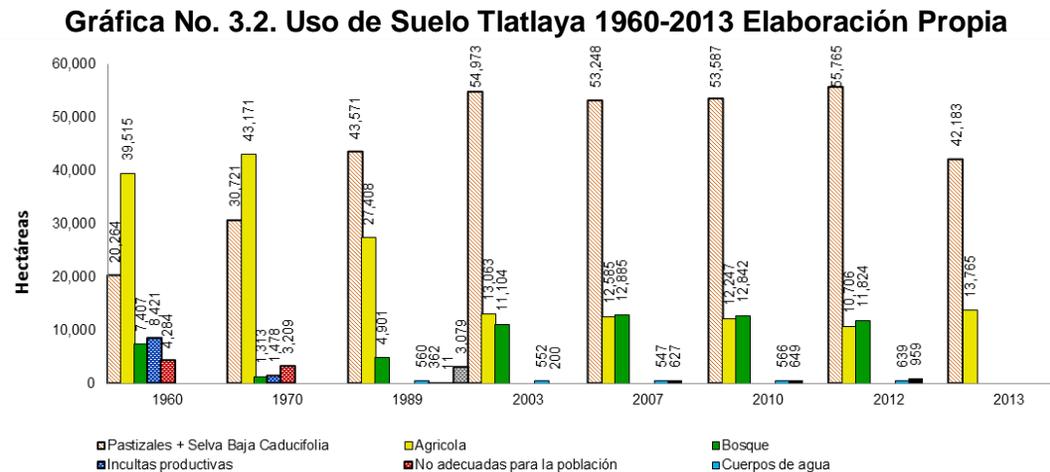
**Gráfica No. 3.1. Demografía Poblacional Tlatlaya 1960-2010**



Este descenso de población se le asocia a un alto índice de migración ya que en el 2005 obtuvo el noveno lugar de los municipios con un alto índice de marginación (Anzaldo y Prado, 2007).

### 3.3. Usos de Suelo Municipio de Tlatlaya

Como se observa en la Gráfica No. 3.2. los diferentes cambios de uso de suelo en el transcurso de la historia del municipio, presenta un comportamiento tendencial a las actividades antropogénicas de las cuales los datos más antiguos datan del año 1960 a 1970, en este periodo se muestra un municipio enfocado a la actividad agrícola, ocupando más del 50% de la superficie municipal, seguido de la actividad pecuaria con un 30%, posteriormente a finales de los 80s y a principios de los 90s, la actividad agrícola comenzó a decaer en su superficie sustituyéndolo hasta entonces la actividad pecuaria desarrollada en gran parte dentro de la Selva Baja Caducifolia, ocupando alrededor del 50% a 70% de la superficie municipal, seguido de la actividad agrícola con 10% y 20% esto a comienzos del 2003. Actualmente la actividad agrícola no ha tenido una recuperación importante, dicho comportamiento sugiere una migración de la población, aunado a la falta de apoyo económico y tecnológico al sector agrícola.



Fuente: En base al *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Tlatlaya 2003*; *Censo Agropecuario 2007*, *VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*; *Inventario Forestal del Estado de México 2010*; *H. Ayuntamiento de Tlatlaya 2009 – 2012 y 2013 – 2015*.

**Tabla No. 3.1 Usos de suelo Municipio de Tlatlaya**

Tipos de Vegetación		ha <sup>-1</sup>	T ha <sup>-1</sup>	<p>El 0.02% se encuentran conformados por bosques de coníferas (Pino), 14.6% por bosque latifoliadas (Encino) 1.5% por bosque de coníferas + latifoliadas (Pino-encino) ambas unidades se localizan al noroeste del municipio. Un 44% lo conforma la Selva Baja Caducifolia (35132 ha<sup>-1</sup>), siendo esta la cobertura forestal dominante dentro del municipio.</p> <p>Las actividades pecuaria tienen un gran impacto dentro de la selva ya que tan solo el 30.8% de la SBC es considerada como primaria, el resto se encuentra abierto a actividades pecuarias.</p>	
Bosque de Pino		12	12		
Bosque de Pino Encino		1169	1169		
Bosque de Encino	BE VSA	2079	35132		
	BEPino VSA	290			
	BE VSa	5091			
Selva Baja Caducifolia	SBC	24617	35132		
	SBC VSA	3126			
	SBC VSa	5639			
	SBC VSh	1750			
Palmar inducido		825	825		
Ciclo de Producción		Cultivo	ha <sup>-1</sup>	Mg	
Agrícola	Sistemas agrícolas anuales	Ciclo: P-V 2007	Maíz	12227	15162
			Frijol	66	19
			Avena forrajera	1	7.6
			Cebada en grano	0.9	2.6
			Otros cultivos	289	14775
		Ciclo: P-V 2010	Maíz	12000	27185
			Frijol	5.0	3.0
			Sorgo forrajero	15	614
			Tomate rojo	6.0	120
			Tomate verde	6.0	114
			Maíz	54	71
			Avena forrajera	5	57
			Frijol	17	2
		Ciclo: O-I 2006 - 2007	Maíz	54	71
			Avena forrajera	5,1	57,4
	Frijol		17,5	2,1	
	Otros cultivos		15.9	84.17	
	Maíz		56.0	150.6	
	Sorgo forrajero		18.0	694.1	
	Elote		16.0	229.1	
	Ciclo: O-I 2010	Sandía	10.0	243.0	
		Tomate verde	9.0	162.0	
		Tomate rojo (jitomate)	9.0	180.0	
		Cebolla	3.0	73.5	
		Frijol	3.0	1.6	
		Calabacita	2.0		
		Jícama	2.0		
		Mango	169,5	1744,5	
		Café cereza	15,04	61,66	
		Naranja	14	97	
	Sistemas agrícolas perenes	Limón	8	58,3	
		Papaya	7	178,2	
		Caña de azúcar otro uso	1	94	
Producto o especie		No. Cabezas de ganado (2007)	Carne en canal Mg (2010)	<p>La actividad pecuaria, requiere de grandes extensiones de suelo para el desarrollo y sustento de especies de importancia para el ganadero, no se tiene un valor preciso de la superficie exacta que ocupa dicha actividad, aun así se estima entre 29,298 ha<sup>-1</sup> (36.7% superficie municipal) a 18,456 ha<sup>-1</sup> consideradas como pastizales (Inventario Forestal del Estado de México 2010), Las mayor parte de esta actividad se desarrollada dentro de la SBC.</p>	
Bovino		28083	2348,8		
Ovino		1885	2,4		
Caprino		9700	49,9		
Porcino		5410	224,4		
Conejos		87	S/D (Sin Datos)		
Ganado equino		4217	S/D		
Caballar		1669	S/D		
Mular		260	S/D		
Asnal		2288	S/D		
Aves de corral		5161	138,5		
Pecuario					

Fuente: INEGI (2007).

### **3.4. Localidad El Suchual de Santa Ana (Municipio de Tlatlaya Estado de México)**

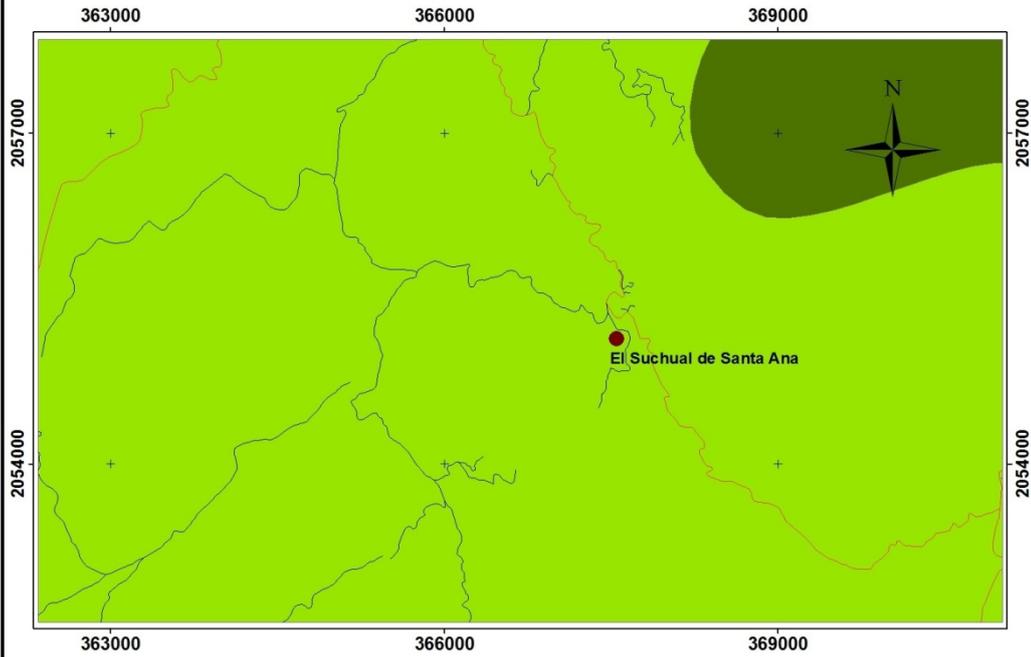
#### **Características físico geográficas**

La localidad de El Suchual de Santa Ana, colinda con las localidades de Tejupilquito al norte y al sur con Barranca de las Flores y Corral de Piedra. Ubicado en las coordenadas geográficas con longitud de 100° 15' 4.96" y una latitud de 18° 34' 53.9", presenta una altura promedio de 910 msnm. La zona presenta fuertes pendientes conformado por lomas de laderas complejas que van desde zonas Escarpado (27%) a muy Escarpado (36%).

#### **3.4.1. Clima**

La zona de estudio presenta un clima cálido subhúmedo **A(C) w2 (w) (i') g** con una precipitación media anual de 1000 mm y una temperatura media anual de 25 °C (Ver Mapa No. 1.).

# No. 1. Mapa de Climas



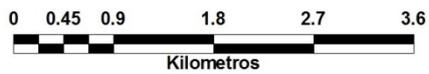
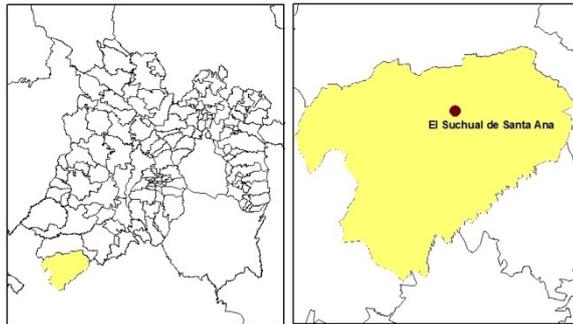


**Universidad Autónoma  
del  
Estado de México**

**Facultad de Planeación  
Urbana y Regional**

**Localidad El Suchual de  
Santa Ana  
Municipio de Tlatlaya  
Estado de México**

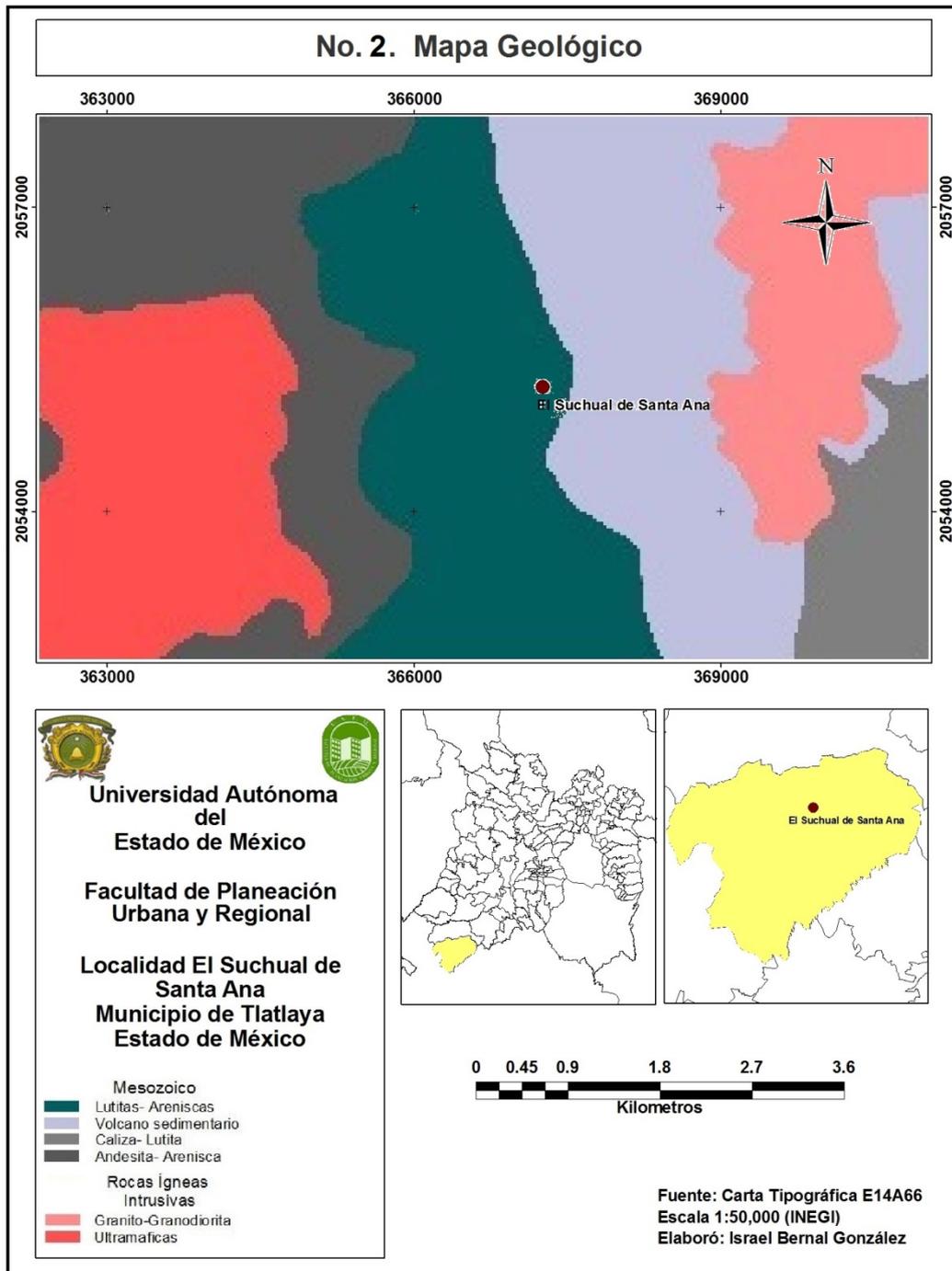
— Caminos  
— Carreteras  
■ Semicálido Subhúmedo  
■ Cálido Subhúmedo



Fuente: Carta Tipográfica E14A66  
Escala 1:50,000 (INEGI)  
Elaboró: Israel Bernal González

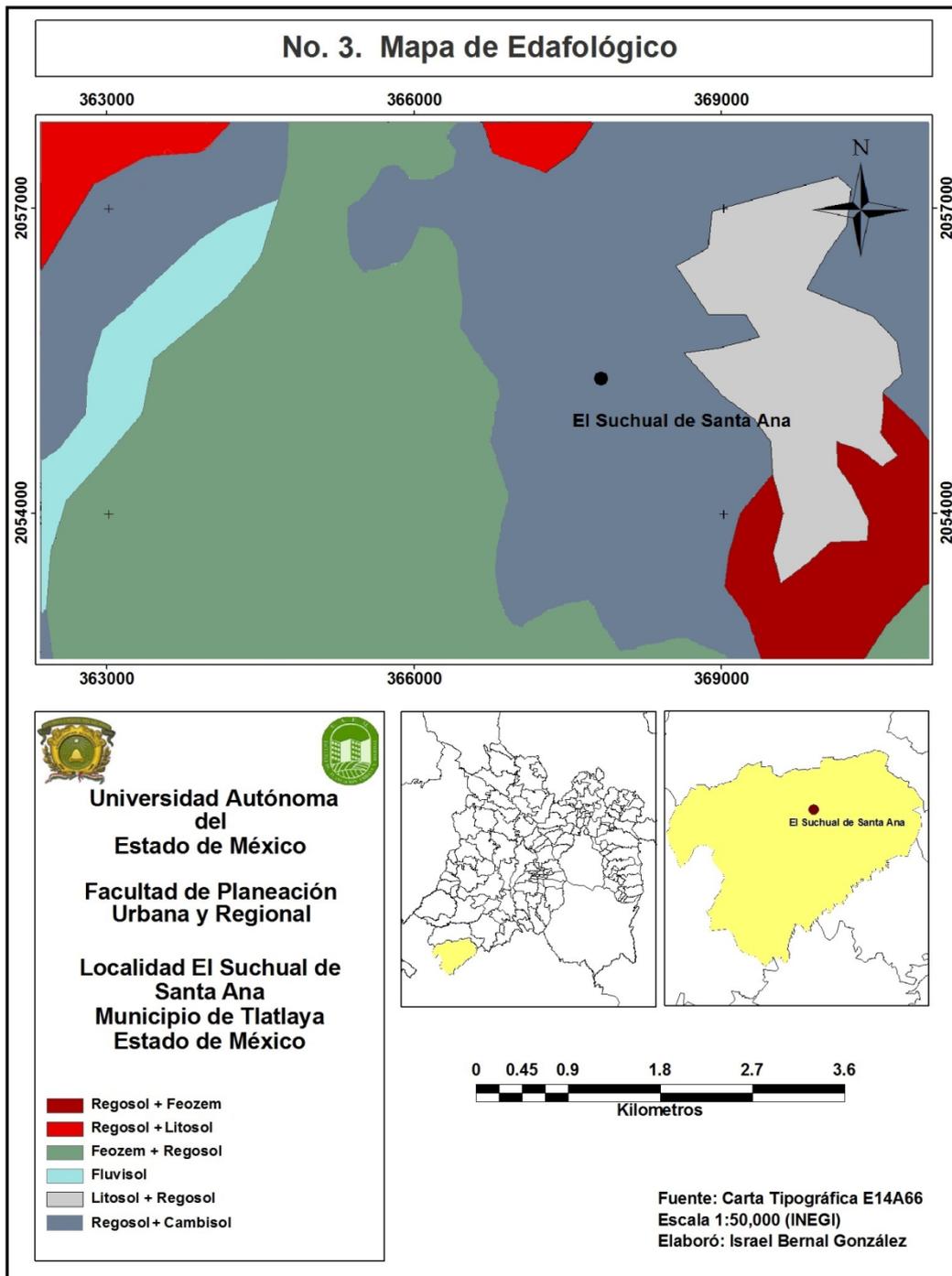
### 3.4.2. Geología

La unidad geológica predominante en la localidad se encuentra conformado por rocas metamórficas de origen sedimentario tales como la **Lutita y Arenisca** del periodo cretácico inferior (Ver Mapa No. 2.).



### 3.4.3. Edafología

El tipo de suelo predominante de la zona se encuentra conformado por *Regosol + Litosol* (Ver Mapa No.3). Sumamente erosionada como consecuencia de fuertes pendientes aunado la pérdida de vegetación como consecuencia de la expansión ganadera y agrícola.



### 3.4.4. Datos demográficos

A continuación se presentan datos estadísticos retomados de INEGI y SEDESOL en los que se dan a conocer aspectos socioeconómicos de la localidad en dos periodos, 2005 y 2010.

La localidad del Suchual de Santa Ana, cuenta con una población total de 70 habitantes para 2010 de las cuales 30 son hombres y 40 mujeres, cuenta con 15 viviendas particulares habitadas. Presenta un crecimiento poblacional lento en un periodo del 2005 al 2010, su índice de marginación es alto sin cambio alguno (Ver Tabla No. 3.2.).

**Tabla No. 3.2. Datos demográficos de la localidad El Suchual de Santa Ana**

Datos demográficos	2005			2010		
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Total de población en la localidad	33	35	68	30	40	70
Viviendas particulares habitadas	19			15		
Grado de marginación de la localidad	Alto			Alto		

Fuente: Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades, Marzo 2014 (SEDESOL 2013).

Como se puede observar en la Tabla No. 3.3 en un periodo de 5 años (2005-2010) el número viviendas habitadas ha disminuido de 19 viviendas a 15 solamente, y tan solo en el 2005 el 100% de las viviendas no contaban con agua entubada y un 47% no contaba con drenaje.

**Tabla No. 3.3. Indicadores de carencia en vivienda**

El Suchual de Santa Ana	2005		2010	
	No.	%	No.	%
Viviendas con piso de tierra	8	42	2	13
Viviendas sin drenaje	9	47	6	40
Viviendas sin agua entubada	19	100	14	93
Viviendas sin sanitario	9	47	6	40

Fuente: Estimaciones del CONEVAL, con base en INEGI, II Conteo de Población y Vivienda 2005 y la ENIGH 2005. Estimaciones de CONEVAL con base en el Censo de Población y Vivienda 2010.

En el 2010 se observan descenso en diversos indicadores, el más sobresaliente es la disminución del número de viviendas con pisos de tierra, ya que de las 19 viviendas ocupadas en el 2005 solamente se reportaron 8 viviendas con pisos de tierra mientras que en el 2010 solamente se reportaron 2 (Ver Tabla No.3.3.). En ese mismo año se reportó también que un 40% de las viviendas habitadas continúan sin drenaje y un 93% sin agua entubada.

A continuación se presentan indicadores de rezago social de los cuales para el 2005 el 100% de la población no contaba con algún tipo de servicio de salud, sin embargo para el 2010 se logró reducir hasta un 21%. Otro dato de importancia es que la mayor parte de la población mayor a 15 años cuenta solamente con una educación básica incompleta.

**Tabla No. 3.4. Indicadores de rezago social**

El Suchual de Santa Ana	2005 (%)	2010 (%)
Población de 15 años o más analfabeta	50	30
Población de 15 años y más con educación básica incompleta	87.23	74.42
Población sin derecho a servicios de salud	100	21.43

*Fuente:* INEGI. II Censo de Población y Vivienda 2005. <sup>[2]</sup> Elaboración propia a partir de INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010: Principales Resultados por Localidad.

**Tabla No. 3.5. Actividades económicas unidades de producción**

Actividad económica de las unidades de producción	Personal ocupado
Explotación de bovinos para la producción de leche	18 - 31 Personas
Explotación de equinos	4 - 7 Personas
Cultivo de maíz grano	8 - 6 Personas
Cultivo de pastos y zacates	2 - 4 Personas
Cultivo de mango	1 - 2 Personas

Fuente: Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria INEGI 2011.

Como se puede observar en la Gráfica No. 3.5 la mayor parte de la población local se enfoca a las actividades pecuarias en las que sobresale la producción de leche, en dicha actividad el número de personas ocupadas son de entre 18 a 31 personas, las actividades agrícolas por su parte tienen una menor incidencia pero sobresale el cultivo de maíz de los cuales solamente se dedican a dicha actividad de entre 8 a 6 personas.

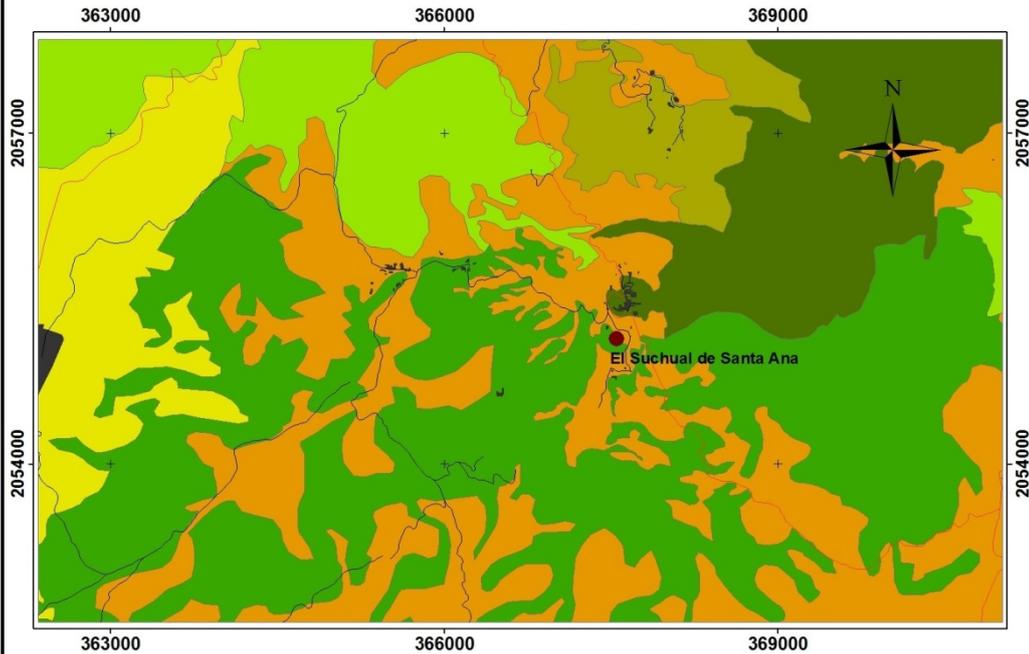
#### **3.4.5. Uso de suelo Localidad El Suchual de Santa Ana**

A continuación se caracterizaron los cuatro usos de suelo (forestal de 67 años y 10 años, agrícola y pecuario) en la Localidad El Suchual de Santa Ana Municipio de Tlatlaya Estado de México basándose en cartografía de INEGI 1:50,000, y encuestas realizadas en localidad el 18 y 20 de Abril del 2013.

Gran parte de la localidad predominan las actividades antropogénica, en la que sobresale la actividad pecuaria desarrollada dentro de la Selva Baja Caducifolia, generando diferentes grados de perturbación, por su parte la actividad agrícola de tipo tradicional tiene una menor incidencia. La mayor parte de estas actividades son abandonadas por periodos largos por parte de los dueños dando paso a la regeneración de la vegetación original, por lo tanto es común la presencia de acahuales, a esto se le asocia también a la rotación de parcelas, debido a su amplia extensión territorial, aunado a un incremento migratorio de la población ya que por cada habitante le corresponden  $2 \text{ ha}^{-1}$  en promedio, dando paso a una menor presión entrópica a estos ecosistemas.

Como se observa en el Mapa No. 4 la Localidad del Suchual de Santa Ana, se encuentra modificada en gran parte por actividad pecuaria en su mayoría de tipo extensiva, en el caso de la actividad agrícola se observa una mayor concentración al oeste de la localidad. Gran parte de la Selva Baja Caducifolia se encuentra fragmentada por dichos usos de suelo disminuyendo drásticamente los reservorios de carbono.

## No. 4. Mapa Uso de Suelo

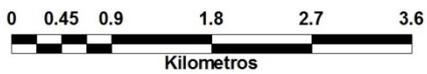
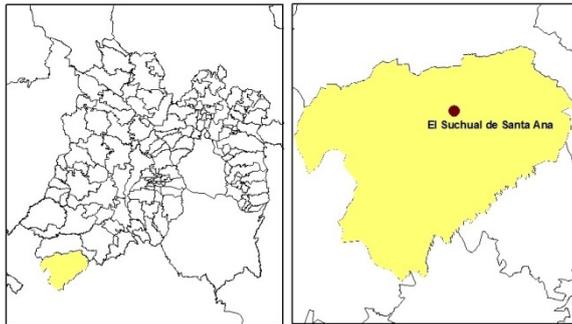


  
**Universidad Autónoma  
del  
Estado de México**

**Facultad de Planeación  
Urbana y Regional**

**Localidad El Suchual de  
Santa Ana  
Municipio de Tlatlaya  
Estado de México**

- Caminos
- Carreteras
- urbano
- Selva Baja Caducifolia y Subcaducifolia
- Selva Baja Caducifolia
- Pastizal Inducido
- Bosque de Pino
- Bosque de Encino
- Agricultura de Temporada



Fuente: Carta Tipográfica E14A66  
Escala 1:50,000 (INEGI)  
Elaboró: Israel Bernal González

## CAPÍTULO IV RESULTADOS

En este capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos en campo sobre el estado de cada uso de suelo en diversos reservorios u almacenes de carbono (C) dividido en **C Aéreo** que comprende: C arbóreo, C en mantillo, C en herbáceas y **C Subterráneo**, constituido por: C en suelo y C radicular, bajo cuatro diferentes usos de suelo en la localidad el Suchual de Santa Ana Municipio de Tlatlaya.

### 4.1. Selva Baja Caducifolia de 67 años

La localidad El Suchual de Santa Ana Municipio, no presenta vegetación que reúna todas las características de un Selva Baja Caducifolia en estado primario o conservada, gran parte se encuentra con diversos grados de alteración predominando la vegetación secundaria, producto de las actividades antrópicas. Las zonas que presenta menor grado de alteración se encuentran inaccesibles por lo que se eligió aquellas zonas con un menor grado de alteración.

Se localiza en las coordenadas UTM X: 0367167 Y: 2055282 a una altura de 930 msnm y con una exposición solar al NE (Noreste). La unidad morfológica dominante está conformada por lomas de laderas complejas, pendientes que van de 27 a 36% considerada como una zona escarpada, presenta una erosión moderada a severa de tipo laminar, la pérdida del horizonte superficial es del 25 a 75%. El material parental se encuentra conformado por fragmentos de roca sedimentaria detríticas (Lutita) y rocas metamórficas foliadas (Pizarra) y no foliada (Poca presencia de Cuarzita) de tamaño mediano, buen drenaje superficial y un estrato arbustivo abundante.

En base a la entrevista realizada al propietario de la zona, indica que hace 65 a 67 años se encontraba sometido a la actividad agrícola ya que, en el transcurso de ese tiempo se regenero de forma natural. Actualmente es

destinado en la extracción de madera para la restauración de cercas y potreros así como la extracción de leña como combustible, entre otros productos forestales (hongos, plantas medicinales y frutales). Se prohíbe la tala de árboles grandes ya que estos proporcionan sombra al ganado, actualmente la zona es aprovechada cada 2 a 3 años.

**Foto No. 4.1. Selva Baja Caducifolia de 65 a 67 años**



Fuente: Foto tomada el 19/04/2013.

Ya mencionado anteriormente se extrae cada año plantas medicinales, tierra de monte 1 vez al año, recolección de hongos en época de lluvias en los meses de agosto a octubre, extracción de leña aproximadamente de 4 a 10 cargas por cada 4 meses. También se practica la cacería de fauna (armadillo, víbora, conejo, iguana y pájaros).

Otra actividad muy difundida dentro de la selva es la actividad de pastoreo, principalmente de ganado caprino (chivos) y bovino. Las afectaciones a la selva más sobresalientes son la explotación forestal, conversión de zona forestal a pastizales o zonas agrícolas y el pastoreo desarrollado dentro de la misma selva, al igual que prácticas de quema de maleza en zonas agrícolas y pastizales siendo estas las principales causas de incendios en estas zonas.

## **4.2. Selva Baja Caducifolia de 10 años**

Se localiza en las coordenadas UTM X: 0367250 Y: 2055187 a una altura de 873 msnm, exposición solar al NO (Noroeste), presenta pendiente de más del 36% con erosión severa de tipo laminar con una pérdida del horizonte superficial del 25 al 75% con afloramientos de roca metamórfica (pizarra) de entre un 40 a 80%, el drenaje superficial es deficiente.

En esta zona se encuentra conformado por vegetación secundaria, donde hace 10 años fue destinado al uso agrícola en el transcurso de este tiempo la zona se ha reforestado de forma natural. Al igual que la SBC 67 años existe un aprovechamiento de ramas y renuevos cada 2 a 3 veces al año esto para el mantenimiento de las cercas de los potreros, al igual que la recolección de leña (10 cargas), también existe la recolección de plantas medicinales y hongos comestibles, caza de fauna local 1 vez al año (conejo, iguana, víbora, armadillo) la mayoría para autoconsumo. Así mismo presenta áreas abiertas donde se pastorea el ganado dentro de la selva.

Nuevamente se presentan prácticas de quema de pastos cerca de los bosques con el fin de abrir nuevas áreas. Actualmente la misma comunidad realiza trabajos para la recuperación de la vegetación nativa, con aprovechamiento forestal con un manejo sustentable, reforestando las zonas afectadas, realizando aclareos, desbroce y la creación de brechas corta fuego.

La Selva Baja Caducifolia no solamente es importante por las actividades agropecuarias que en ella se desarrolla, también el de albergar una gran variedad de flora y fauna, gran parte endémica de las cuales la población ha sabido explotar en el transcurso del tiempo para diferentes usos, tales como la extracción de madera para la construcción o leña, así como la obtención de alimentos y medicinas (Ver Tabla No. 4.1.), en el ámbito nacional este tipo de ecosistemas albergan un 40% de plantas endémicas (Rzedowski, 1991).

#### Foto No. 4.2. Selva Baja Caducifolia de 10 años



Fuente: Foto tomada el 20/04/2013.

En base a la aplicación de encuestas realizadas del 19 al 20 de Abril del 2013 por el equipo del proyecto *“Aprovechamiento de la Energía de la Biomasa Forestal en el Estado de México”*, en el municipio de Tlatlaya Localidad El Suchual de Santa Ana, se recopiló información sobre el aprovechamiento y uso forestal en la localidad, asimismo se recopiló información de otra localidad aledaña llamada Puerto Seco, retomada de la tesis de Figueroa (2000), en donde se realiza una comparación con el fin de conocer la gran variedad de especies forestales que albergan este tipo de ecosistemas así como los diversos usos que se les dan, algunas de ellas utilizadas para varios propósitos como alimenticios y medicinales (muchas de éstas aún no estudiadas por la comunidad científica) seguidas por la construcción, leña y forraje, siendo un dato curioso ya que en comparación con otros ecosistemas forestales que solamente son destinadas para la construcción o producción de leña.

**Tabla No. 4.1. Especies Forestales y Usos en El Suchual de Santa Ana**

Uso	Localidad El Suchual de Santa Ana		*Localidad Puerto Seco		
	Nombre común	Nombre Científico	Nombre común	Nombre Científico	
Frutales Comestibles	Bonete	Jacaratia mexicana	Ciruelo	Spondias purpurea	
	Cazahuate	Ipomoea arborescens	Limón	Citrus aurantifolia	
	Parota	Eterolobium cyclocarpum	Hilama	Annona reticulata	
	Capulina	Erythrina folkersii	Pinzán	Pithecellobium dulce	
	Guaje	Leucaena esculenta	Guayaba	Psidium guajava	
	Mango	Mangifera Indica	Tamarindo	Tamarindus indica	
Árboles Maderables	Construcción	Caña fístola	Tabebuia impetiginosa	Guazima	Heliocarpus pallidus
		Pochote	Ceiba aesculifolia	Tepehuaje	Lysiloma acapulcensis
		Cubata	Acacia cochliacantha	Zopilote	Swietenia humilis
		Cuitas	Lysiloma divaricata	Palo hediondo	
		Parota	Eterolobium cyclocarpum	Espino herrero	Mimosa benthamii
				Cacahuananche	Licania arborea
	Leña			Pata de venado	
		Cubata	Acacia cochliacantha	Tepehuaje	Lysiloma acapulcensis
		Guaje	Leucaena esculenta	Collar de ardilla	Alvaradoa amorphoides
		Palo dulce	Eysenhardtia polystachya	Caulote	Guazuma ulmifolia
		Granadillo	Platymiscium lasiocarpum	Copal	Bursera copallifera
		Cazahuate	Ipomoea arborescens		
Ocotillo	Cordia elaeagnoides				
Medicinales	Panicua	Cochlospermum vitifolium	Cuachalalate	Amphipterygium adstringens	
	Parota	Eterolobium cyclocarpum	Quina		
	Palo dulce	Eysenhardtia polystachya	Crescentia alata		
	Amate amarillo	Ficus petiolaris Kunth	Chicumpún		
			Cirián chino	Randia echinocarpa	
			Brasil	Haematoxylon brasiletto	
			Cuaulote	Guazuma ulmifolia Lam	
			Nanche de perro	Vitex mollis	
			Diente de molino	Karwinskia pubescens	
			Tepehuaje	Lysiloma acapulcensis	
Forrajeros	Cubata	Acacia cochliacantha	Caulote	Guazuma ulmifolia	
	Huizache	Acacia Farnesiana	Palo de aro	Lonchocarpus hintonii	

Fuente: Elaboración propia con base en \*Figuroa Solano, E. (2000).

### 4.3. Pecuario

El tercer punto de muestreo se encuentra cubierto por pastizales con actividad pecuaria, de hace 18 años. Se localiza en las coordenadas UTM X: 0367278 Y: 2055269 a una altura de 895 msnm, con una exposición solar al NO (Noroeste). La geomorfología corresponde a sierras complejas con pendientes de 27 al 36%, presenta una erosión de tipo lamiar con pérdida del horizonte superficial del 25 al 75%, su drenaje superficial es deficiente, el material parental se encuentra conformado por roca metamórfica foliada (Pizarra) y no foliada (con poca presencia cuarcitas) con una cobertura superficial del 40 al 80%. En esta zona se cuentan con 19 cabezas de ganado bovino.

**Foto No. 4.3. Pecuario**



Fuente: Foto tomada el 20/04/2013.

Dicha actividad se ha llevado a cabo desde hace 18 años en los que sobresale el ganado bovino, con valor cultural alto y gran parte depende de los ingresos económicos del hogar, el propietario afirma que en los meses de enero a abril permanecen en corrales o establos en donde se mantienen

con alimentos comprados o recolectados de los residuos agrícolas del año pasado, mientras que en los meses de mayo a julio se alimentan de los pastizales o dentro de la misma selva, con una continua rotación en cada zona, en los meses de agosto a octubre se alimentan con residuos verdes agrícolas y posteriormente en los meses de noviembre a diciembre con rastrojos dejados dentro de la milpa, los residuos restantes son dejados sobre el suelo como fertilizantes.

Actualmente es frecuente ver parcelas abandonadas donde anteriormente se desarrollaba el pastoreo, esto se debe según los propietarios a una escasez de recursos económicos para la compra de alimento, aunado a la depreciación del valor económico de cada animal, aunado a una migración de mano de obra joven a ciudades en busca de mejores fuentes de trabajo. Otro factor importante son los suelos infértiles, generando una disminución en la producción de pastos para el ganado, actualmente es necesario rotar el ganado en diferentes parcelas para el sustento del ganado.

#### **4.4. Agrícola**

Este uso de suelo se ubica en las coordenadas UTM X: 367285 Y: 2055028, altitud de 946 msnm, con una exposición solar al NE (Noreste) su geomorfología corresponde a lomeríos complejos con pendiente de 36%, el material parental se encuentra conformado por rocas metamórficas (pizarras), la pedregosidad que presenta es de tamaño medio a grueso con cobertura del 40 al 80%, el drenaje superficial que presenta es deficiente, desprovista de cobertura vegetal la erosión que presenta es de tipo hídrica laminar en surcos, con pérdida total del horizonte superficial.

La tenencia de la tierra de tipo privada (temporada), se siembra aun con coa debido a las condiciones topográficas irregulares presente en la zona, predomina el cultivo de maíz ya que para el año 2012 se sembró maíz negro obteniendo una producción de 20 cargas de maíz (1 carga = 60 Kilos) por hectárea, con cultivos asociados en menor escala como el frijol y calabaza

obteniendo una producción de 3 kilos de frijol y 15 de calabaza por hectárea; la producción obtenida es para autoconsumo los restos agrícolas (rastrojo) son dejados en el campo para el ganado o utilizado como forraje en los meses de enero a marzo.

**Foto No. 4.4. Agrícola**



Fuente: Foto tomada el 20/04/2013.

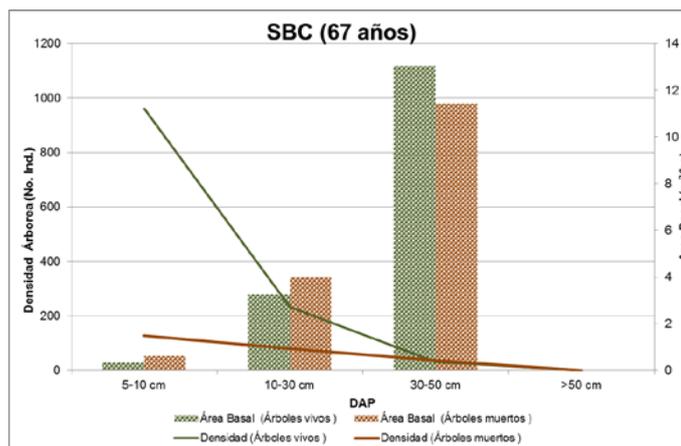
Los trabajos realizados anualmente en los usos agrícolas son los siguientes, de enero a marzo el suelo agrícola se deja en descanso, en abril se limpia el terreno, en mayo se realiza la preparación para el cultivo, en junio se siembra y realizar la primera escarda en donde se incorpora abono inorgánico o en su defecto orgánico generado a partir del estiércol dejado por ganado, posteriormente en los meses de agosto y septiembre se realiza la segunda escarda y el deshierbe a mano, así como la cosecha de elote finalmente en noviembre se cosecha.

Actualmente se han sustituido algunas técnicas tradicionales como el usos de fertilizantes y plaguicidas y en promedio se utilizan en 1 ha<sup>1</sup> 14 bultos de fertilizante (50 kg X bulto) con un valor de \$140 cada bulto.

#### 4.5. Estructura forestal

En los 4 usos de suelo solamente se tomaron en cuenta aquellos con cobertura forestal ( $SBC_{67\text{años}}$ ,  $SBC_{10\text{años}}$  y uso Pecuario), para ello se tomaron en cuenta variables como el Área Basal y la Densidad Arbórea tanto de árboles vivos como muertos, de los cuales los tres usos presentaron un gran número de individuos jóvenes de entre 5-10 cm de DAP (Diámetro a la Altura del Pecho), posteriormente se obtuvieron comportamientos descendentes en cuanto a la densidad arbórea en individuos > a 10cm y ascendentes en cuanto al área basal.

Gráfica No. 4.1. Estructura forestal SBC (67 años)

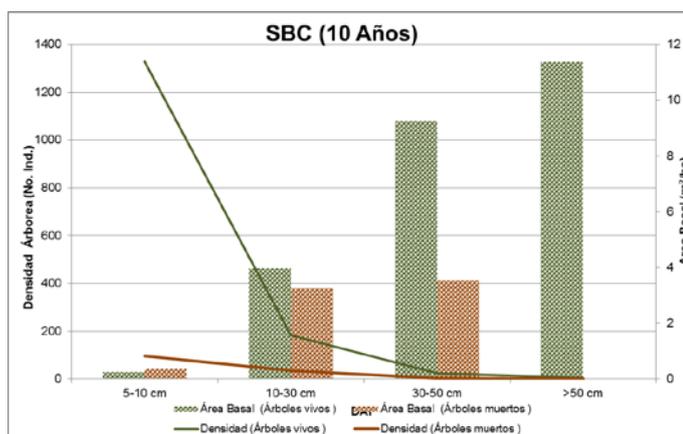


Fuente: Elaboración propia con base en resultados de campo.

La mayor cantidad de individuos jóvenes vivos se reportó en individuos < a 10 cm donde la  $SBC_{10\text{años}}$  obtuvo una mayor acumulación seguido de la  $SBC_{67\text{años}}$  y finalmente el uso Pecuario, esto significa que dichas zonas se encuentran en un estado de perturbación.

En cuanto al número de individuos muertos nuevamente se registró en diámetros < a 10 cm tanto en  $SBC_{67\text{años}}$  seguido de la  $SBC_{10\text{años}}$ , mientras tanto la actividad pecuaria fue el único que no reportó árboles muertos.

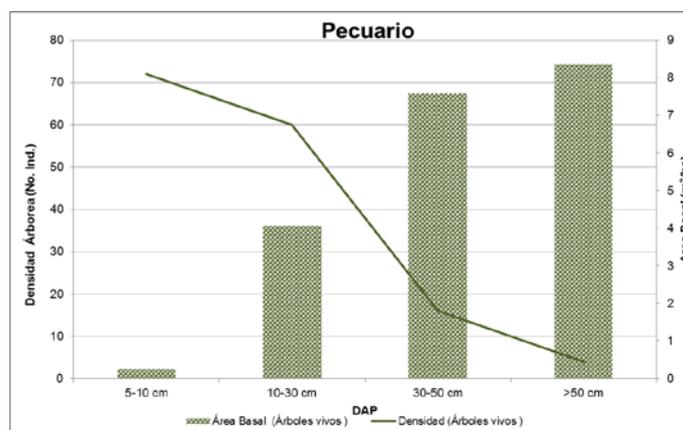
**Gráfica No. 4.2 Estructura forestal SBC (10 años)**



Fuente: Elaboración propia con base en resultados de campo.

De los 3 usos con cobertura forestal la SBC<sub>67años</sub>, fue el único que no reportó ejemplares > a 50 cm al mismo tiempo presentó un número alto de individuos muertos en diámetros de entre 30 a 50cm.

**Gráfica No. 4.3. Estructura forestal Pecuario**



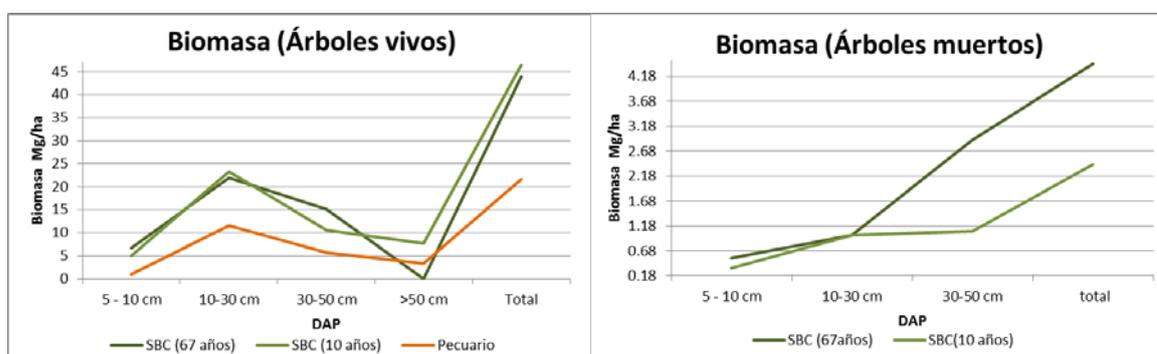
Fuente: Elaboración propia con base en resultados de campo.

Esto sugiere que dichos ecosistemas se encuentran sumamente manipulados y afectados por las actividades antropogénicas debido a un alto número de individuos jóvenes, esto principalmente en las zonas forestales (SBC<sub>10años</sub> SBC<sub>67años</sub>) con una disminución paulatina en individuos con diámetros grandes lo que sugiere un aprovechamiento selectivo.

Posteriormente en los tres usos de suelo con cobertura forestal se midió la biomasa en árboles vivos y muertos. Se obtuvo un comportamiento similar en biomasa acumulada en árboles vivos (Ver Gráfica No. 4.4) tanto en la SBC<sub>10años</sub> como en la SBC<sub>67años</sub>.

La mayor acumulación de biomasa se registra en diámetros > 50 cm seguido de diámetros de entre 10 a 30cm, siendo la SBC<sub>10años</sub> la que almacenó mayor cantidad de biomasa seguida de la SBC<sub>67años</sub>. (Ver Gráfica No. 4.4.).

**Gráfica No. 4.4. Biomasa (Árboles Vivos Árboles Muertos)**



Fuente: Elaboración propia con base en resultados de campo.

La menor aportación de biomasa para el caso de los tres usos se registró en diámetros entre 5 a 10 cm de los cuales la actividad pecuaria fue la que aportó una menor acumulación. Así mismo se midió la biomasa acumulada en árboles muertos de los cuales solamente se reportó en SBC<sub>67años</sub> y SBC<sub>10años</sub>.

La menor acumulación nuevamente se reportó en diámetros < a 5cm, posteriormente a partir de diámetros > a 10cm, la acumulación de biomasa comenzó a incrementarse y a decaer hasta los 50 cm, de los cuales la SBC<sub>67años</sub> obtuvo una mayor acumulación seguida de la SBC<sub>10años</sub>.

#### 4.6. Carbono almacenado en la cubierta forestal y usos de suelo

##### **Selva Baja Caducifolia de 67 años (SBC<sub>67años</sub>).**

El total de carbono almacenado en la SBC<sub>67años</sub> fue de 71.3 MgC·ha<sup>-1</sup>, más de la mitad de este carbono (39.2 MgC·ha<sup>-1</sup>) se encuentra almacenado en el suelo a una **profundidad de 20 cm**. Otro importante reservorio se registró en los árboles vivos con una acumulación de 21.1 MgC·ha<sup>-1</sup> y 2.3 MgC·ha<sup>-1</sup> en árboles muertos, el resto del carbono se encuentra acumulado en el mantillo, herbáceas y raíces siendo las herbáceas la que tuvieron una menor aportación de carbono en todo el ecosistema (Ver tabla 4.2.).

**Tabla No. 4.2. SBC<sub>67años</sub>**

C. Aéreo		MgC·ha <sup>-1</sup>
Árboles	Vivos	21.1
	Muertos	2.3
Herbáceas		0.1
Mantillo		4.6
C. Bajo el suelo		
<b>Suelo (20 cm) D.A= 0.67</b>		<b>39.2</b>
C. Radicular		4
Total		<b>71.3</b>

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de laboratorio.

##### **Selva Baja Caducifolia de 10 años (SBC<sub>10años</sub>)**

El carbono total almacenado en la SBC<sub>10años</sub> fue de 71 MgC·ha<sup>-1</sup> nuevamente (Ver Tabla No. 4.3.), el suelo contribuyó en aportar una mayor cantidad de carbono acumulado nuevamente a una profundidad de 20 cm con 38.8 MgC·ha<sup>-1</sup>, seguido de 22.4 MgC·ha<sup>-1</sup> almacenado en árboles vivos y 1.3 MgC·ha<sup>-1</sup> en árboles muertos, el menor almacén se reportó en las herbáceas con 0.1 MgC·ha<sup>-1</sup>.

**Tabla No. 4.3. SBC<sub>10años</sub>**

C. Aéreo		MgC·ha <sup>-1</sup>
Árboles	Vivos	22.4
	Muertos	1.3
Herbáceas		0.1
Mantillo		4.2
C. Bajo el suelo		
<b>Suelo</b> (20 cm) D.A= 1.05		38.8
Radicular		4.4
<b>Total</b>		<b>71</b>

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de laboratorio.

Existe un comportamiento muy semejante entre ambas zonas con coberturas forestales (SBC<sub>67años</sub> y SBC<sub>10años</sub>), en cuanto al carbono total y el acumulado en cada reservorio, a excepción del reservorio en árboles vivos con 22.4 MgC·ha<sup>-1</sup> en SBC<sub>10años</sub> Y 21.1 MgC·ha<sup>-1</sup> en SBC<sub>67años</sub>.

### Pecuario

El uso Pecuario presentó una acumulación total de C de 67.1 MgC·ha<sup>-1</sup>, la mayor parte del C se registró en el suelo a una profundidad de 20 cm con 52.2 MgC·ha<sup>-1</sup>, y 2 MgC·ha<sup>-1</sup> de carbono en raíces, en comparación con los usos forestales (SBC<sub>67años</sub>, SBC<sub>10años</sub>). De igual forma no se presentaron diferencias significativas en los reservorios mantillo y radicular (Ver Tabla No. 4.4.).

**Tabla No. 4.4. Pecuario**

C. Aéreo		MgC·ha <sup>-1</sup>
Árboles	Vivos	10.4
	Muertos	----
Herbáceas		0.7
Mantillo		1.8
C. Bajo el suelo		
<b>Suelo</b> (20 cm) D.A= 1.03		52.2
Radicular		2
<b>Total</b>		<b>67.1</b>

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de laboratorio.

Por otra parte existe ausencia de árboles muertos dejando solamente una acumulación de C en árboles vivos de 10.4 MgC·ha<sup>-1</sup>; la mayor acumulación de carbono se concentró diámetros > a 10 cm.

### Agrícola

El contenido de carbono total para el uso agrícola fue de 52.5 MgC·ha<sup>-1</sup>, la mayor parte del carbono acumulado corresponde al suelo con 46.3 MgC·ha<sup>-1</sup>, a una profundidad de 20 cm (Ver Tabla No. 4.5.). El descenso de C aéreo en el uso agrícola se debe la ausencia árboles, herbáceas y radicular permitiendo cuantificar solamente carbono en suelo y mantillo (restos agrícolas). El mantillo por su parte obtuvo una contribución del 6.1 MgC·ha<sup>-1</sup>.

**Tabla No. 4.5. Agrícola**

C. Aéreo		MgC·ha <sup>-1</sup>
Árboles	Vivos	----
	Muertos	----
Herbáceas		----
Mantillo		6.1
C. Bajo el suelo		
<b>Suelo (20 cm) D.A= 1.12</b>		<b>46.3</b>
Radicular		----
Total		<b>52.5</b>

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de laboratorio.

### 4.7.- Desviación Estándar y Coeficiente de Variación

La implementación de variables como la desviación estándar (D.S.) y coeficiente de variación (C.V.) permite obtener valores de carbono absolutos y confiables, en base a datos obtenidos por sub cuadrantes enfocándose primordialmente en aquellos reservorios que aportaron una mayor cantidad de carbono (arbóreo y suelo), reportados en zonas forestales y en zonas con actividad agropecuaria. La finalidad de este análisis es no solamente obtener

la confiabilidad de los resultados, a su vez permite ser un indicador respecto al estado de conservación actual de dichos ecosistemas.

### Reservorio Arbóreo

Para la ratificación de los datos de carbono arbóreo, se tomaron en cuenta aquellas zonas con cobertura forestal ( $SBC_{67\text{años}}$ ,  $SBC_{10\text{años}}$ , Pecuaria), observando diferencias importantes, tal es el caso de los árboles vivos, los valores de C.V. fueron de 181%-210% en caso de la  $SBC_{67\text{años}}$ , 153%-297% en la  $SBC_{10\text{años}}$  y 52%-161% para el uso Pecuaria. Los valores de C.V. más altos se registraron en la  $SBC_{10\text{años}}$ , mientras que el coeficiente de variaciones más bajas se vio reflejado en la actividad pecuaria (Ver Tabla No. 4.6.).

**Tabla No. 4.6.**

Árboles vivos		MgC·ha <sup>-1</sup>	$\bar{x}$	D.S.	C.V.	Árboles muertos		MgC·ha <sup>-1</sup>	$\bar{x}$	D.S.	C.V.
<b>SBC</b> 67años	1	<b>18.6</b>	0.3	±0.6	210%	<b>SBC</b> 67años	1	<b>4.5</b>	0.3	±0.6	225%
	2	<b>17.8</b>	0.3	±0.6	181%		2	<b>0.9</b>	0.1	±0.1	114%
	3	<b>31.5</b>	0.5	±0.9	189%	194	3	<b>3.1</b>	0.2	±0.3	148%
	4	<b>16</b>	0.4	±0.9	199%		4	<b>0.5</b>	0.1	±0.1	145%
<b>SBC</b> 10años	1	<b>35</b>	0.7	±1	156%	<b>SBC</b> 10años	1	<b>0.45</b>	0.09	±0.1	128%
	2	<b>15.7</b>	0.3	±0.5	153%		2	<b>0.43</b>	0.07	±0.05	75%
	3	<b>13.5</b>	0.3	±0.5	187%	198	3	<b>0.9</b>	0.13	±0.1	77%
	4	<b>25.3</b>	1	±2.9	297%		4	<b>3.3</b>	1.1	±1.09	99%
<b>Pecuaria</b>	1	<b>3.6</b>	0.4	±0.5	124%						
	2	<b>4.6</b>	0.9	±1.1	121%						
	3	<b>16.7</b>	2.1	±1.1	52%	114					
	4	<b>16.9</b>	1.2	±1.9	161%						

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de Inventario Forestal.

La parte de los árboles muertos solamente se reportó información en la  $SBC_{67\text{años}}$  y  $SBC_{10\text{años}}$ . Los resultados obtenidos muestran una alta dispersión de datos principalmente en la  $SBC_{67\text{años}}$  con un C.V. del 114%-225%, finalmente la  $SBC_{10\text{años}}$  obtuvo una menor C.V. con 75%-128%. En comparación de los dos reservorios (árboles muertos y árboles vivos) la

mayor confiabilidad de los resultados obtenidos se vio reflejada en árboles muertos específicamente en la  $SBC_{10 \text{ años}}$ . Aunque cabe hacer énfasis que en forma general los resultados obtenidos de C.V. y D.S. en la cobertura forestal siguen siendo altos.

### Reservorio Suelo

Para el caso del reservorio suelo se tomaron en cuenta las 4 zonas muestreadas en campo ( $SBC_{67 \text{ años}}$ ,  $SBC_{10 \text{ años}}$ , Pecuario y Agrícola) y en base a la metodología implementada para el muestreo de suelo, herbáceas y mantillo solamente se hizo uso de 3 sub cuadrantes.

Se observaron pocas diferencias en el C.V. sin embargo el uso pecuario presentó el C.V. más altos de los 4 usos con 24-35%, mientras que el uso agrícola fue el que obtuvo un menor C.V con 2-10% (Ver Tabla No. 4.7.). En el caso de la  $SBC_{67 \text{ años}}$  presentó un C.V. del 16-27%, y la  $SBC_{10 \text{ años}}$  con 14-20%.

**Tabla No. 4.7**

SUELO	Sub Cuadrante	$\bar{x}$	D.V	C.V
<b>SBC<sub>67 años</sub></b>	1	35.32	±9.43	27%
	2	35.57	±7.91	22%
	3	46.68	±7.53	16%
<b>SBC<sub>10 años</sub></b>	1	54.85	±10.93	20%
	2	29.75	±4.13	14%
	3	31.86	±4.60	14%
<b>PECUARIO</b>	1	55.55	±13.41	24%
	2	56	±14.29	26%
	3	45.1	±15.69	35%
<b>AGRÍCOLA</b>	1	51.84	±4.97	10%
	2	44.42	±0.69	2%
	3	42.7	±4.23	10%

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de laboratorio.

La dispersión de datos obtenido en el reservorio suelo es sumamente bajo en comparación con el reservorio arbóreo, tomando en cuenta que una alta dispersión no sugiere precisamente un error en cuanto a los resultados ni la

metodología implementada, si no seguiré una alta heterogeneidad forestal con una mayor presencia de árboles jóvenes y una escases de árboles adultos. En el caso de las herbáceas y mantillos se encuentran vinculadas en cuanto al estado de conservación de la selva, los datos obtenidos en estos reservorios muestran una alta dispersión, en el caso del mantillo, tomando en cuenta la topografía de la zona (fuertes pendientes) y aunado al estado de perturbación forestal, son muy comunes las diferencias en los contenidos de carbono acumulado en diferentes puntos del suelo tanto en la selva como en los usos agropecuarios.

## Discusión

El estudio realizado asevera y define las causas que favorecen una mayor o menor acumulación de carbono bajo diferentes reservorios sometidos a diferentes prácticas de manejo en una selva baja caducifolia.

### Relación carbono y estructura forestal

Se ha demostrado que la estructura y composición forestal juega un papel importante en cuanto a las variaciones de carbono en biomasa y suelo (Meave *et al.* 2006; y Álvarez *et al.*, 2013), permitiendo ser un indicador de su estado actual; cambios a los que ha sido sometido en el pasado, sus potencialidades y limitantes en cuanto a la captura de carbono a futuro.

En dicha investigación se implementaron variables como el Área Basal y Densidad Arbórea en 3 zonas con cobertura forestal, en cada una se llevaron a cabo inventarios forestales en tres zonas con diversos grados de perturbación; se clasificaron los datos a partir el DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de cada árbol, tomando como valor mínimo 5 cm. Las pequeñas diferencias arrojadas entre el Área Basal y la Densidad Arbórea por cada zona muestreada se le asocia al estado de perturbación a la que ha sido sometida.

La escases de individuos vivos grandes (>50 cm) y la abundancia de individuos jóvenes (5-10 cm) fue similar en las tres zonas con cobertura forestal (SBC<sub>67 años</sub>, SBC<sub>10 años</sub>, Pecuario), a pesar de contar con un alto número de individuos jóvenes de una mayor velocidad de crecimiento, determinan una menor densidad de la madera (Brown *et al.*, 1982; Avendaño *et al.*, 2007) aportando una menor cantidad de carbono arbóreo, mientras tanto el mayor aporte de carbono corresponde a individuos con diámetros de entre 30 cm y > a 50 cm.

Cabe señalar que este tipo de selvas secas (Selva Baja Caducifolia) específicamente del Pacífico Mexicano se caracterizan por tener una elevada densidad de árboles con diámetros pequeños (Trejo, 1998), de igual forma se encuentran sometidas a un intenso uso agropecuario desde el inicio de la época colonial y que perdura hasta nuestros días (Ceballos, 2010).

El aprovechamiento forestal es común en estas zonas, en este estudio se le asoció a los individuos muertos y tocones (parte del tronco de un árbol que queda unida a la raíz cuando lo cortan por el pie) como posibles recursos aprovechables en el caso de los árboles muertos y aprovechados en el caso de los tocones (leña, restauración de potreros etc.).

Solamente se reportaron árboles muertos en la SBC<sub>67años</sub> y SBC<sub>10años</sub> y en promedio por cada hectárea se registraron 100 individuos, de los cuales la mayoría corresponden a diámetro < a 10 cm; esto sugiere una explotación forestal selectiva de individuos jóvenes de baja acumulación de biomasa pero de rápido crecimiento que prosperan en bosques de segundo crecimiento que constituyen en el recurso maderable del futuro (Ewel 1980).

En el caso del uso pecuario, fue el único que no reportó árboles muertos al igual que una menor cantidad tanto de individuos jóvenes como grandes, mientras tanto el mayor aporte de carbono arbóreo se registró en diámetros > a 50 cm.

Este comportamiento se repite en las zonas forestales pero con una mayor abundancia ya a que según Álvarez (2013) y Francis JK (1988) la finalidad del ganadero de dejar árboles con diámetros grandes es el de proporcionar sombra para el ganado, y es preciso recordar que dicha práctica se realiza tanto en pastizales como dentro de la misma selva.

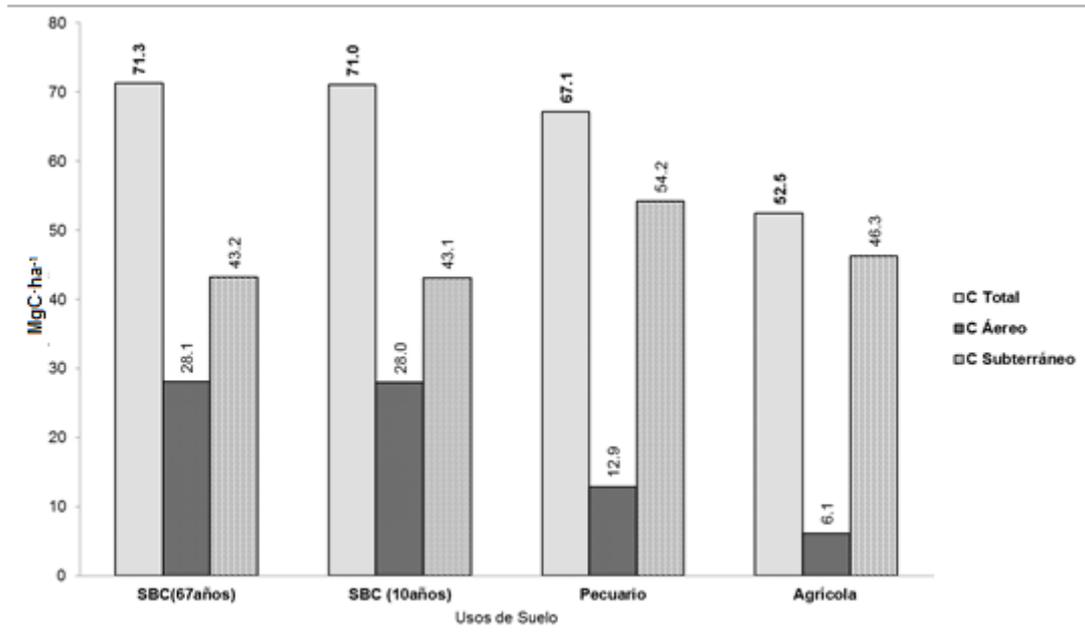
## Comparación de los reservorios aéreos y subterráneos en zonas forestales y zonas agropecuarias

Como se observa en la Gráfica No. 4.5 el contenido total de carbono se clasificó en reservorios aéreo y subterráneo en donde se observó una similitud en cuanto al carbono aéreo y subterráneo almacenado en zonas forestales. A pesar de presentar diferencias significativas la  $SBC_{10\text{años}}$  obtuvo una menor acumulación; a esto se le asocia a un uso agrícola al cual fue sometido hace 10 años, pero en comparación con la  $SBC_{67\text{años}}$ , se observa una rápida recuperación de carbono aéreo y subterráneo igualándolo casi en su totalidad; a esto se le asocia a la rápida regeneración forestal que presentan estos ecosistemas. De acuerdo con Gueye (2010) y Manzano *et al.* (2008) la tasa anual de captura de **carbono aéreo** corresponde a  $4.7 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  en los primeros 20 años de establecimiento de la selva, disminuyendo posteriormente a  $1.7 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; la tasa anual de captura de **carbono subterráneo** corresponde al 53% del carbono acumulado sobre el suelo.

Creciente evidencia indica también que este tipo de bosques secundarios desarrollados después de la intervención humana pueden ser manejados para proporcionar muchos de los servicios ecológicos y económicos suministrados originalmente por los bosques primarios (Ewel 1980; Brown y Lugo 1990).

Según Jaramillo *et al.*, (2003) señala que este tipo de ecosistemas tienen un potencial de almacenamiento total de  $141 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , del cual  $58 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  (41%) corresponden a carbono sobre el suelo (carbono aéreo) y  $83 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$  (59%) de carbono bajo el suelo a una profundidad de 60 cm; en base a ello se observa que los resultados obtenidos en esta investigación el carbono aéreo y subterráneo contenido en las zonas forestales y agropecuarias se encuentran a la mitad de su capacidad de almacenamiento.

**Gráfica No. 4.5 Carbono Aéreo y Subterráneo**



Fuente: Elaboración propia con base en resultados de laboratorio y Acosta *et al.*, 2009.

En cuanto a las actividades agropecuarias se observa en la Gráfica No. 4.5 una disminución de carbono tanto aéreo y subterráneo; a esta disminución se le asocia a las prácticas de manejo a las que han sido sometidas, tales como el uso de fertilizantes o la eliminación de la cobertura vegetal (Ibrahim *et al.*, 2007; Post y Kwon 2000), un factor que influye en la pérdida específicamente de carbono subterráneo es la pendiente, por su parte Gueye (2010) menciona que la conversión de una Selva Baja Caducifolia a actividades agropecuarias desarrollada en pendientes, se producen pérdidas de carbono del 65% y 54%, mientras tanto el reservorio aéreo disminuye como resultado de la pérdida de cobertura vegetal, pero incrementando el almacén subterráneo, tal es el caso de este estudio.

El clima y humedad es otro factor que intervienen en la acumulación de carbono aéreo y subterráneo, a diferencia de los ecosistemas de clima húmedo frío la máxima capacidad de almacenamiento en ecosistemas de clima cálido seco resulta ser pobre, a esto se le asocia una alta descomposición de biomasa como resultado de las altas temperaturas

aunado a una baja humedad, genera una alta volatilidad de la materia orgánica y una menor productividad de biomasa, por su parte Gueye (2010) y Post (1982) mencionan que un almacene de carbono es superior en zonas húmedas.

Por su parte Schlesinger, (1990) menciona que en una tierra cultivada de entre 30 a 50 años, las pérdidas de carbono en suelo ascienden en promedio a un 50% del valor original a los primeros 20cm de profundidad.

El contenido de carbono total en el uso pecuario asciende a  $67.11 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , gran parte de este carbono corresponde a la parte subterránea, a esto se le asocia a la presencia de pastos ya que este tipo de plantas presentan mayor cantidad de raíces finas y de mayor longitud y una mayor factibilidad de descomposición en comparación con pequeñas especies leñosas (Guo *et al.*, 2007), lo que indica que una parte de la biomasa se encuentra bajo suelo, a la incorporación de estiércol por parte del ganado, su alta velocidad en la incorporación y degradación de materia orgánica; pero este incremento depende gran parte del manejo implementado en estos usos. Por su parte Paz, s.f. define que los pastizales con un pastoreo bajo o ligeramente arriba de su capacidad de carga animal, el COS (Carbono Orgánico sobre el Suelo) se mantienen o se incrementa, y en el caso de situaciones contrarias en donde existe un sobrepastoreo el COS se reduce.

Por otro lado el carbono aéreo en los usos pecuario y agrícola fue menor en comparación con las zonas forestales, ya que en el caso del uso agrícola presentó una menor acumulación de carbono aéreo y subterráneo a esto se le asocia a una serie de factores que afectan de forma directa la capacidad de almacenamiento de carbono.

Condiciones económicas: Falta de apoyo y capacitación de autoridades gubernamentales.

Sociales: Tanto nivel municipal como local presenta un alto índice de migración de población joven.

Condiciones físicas y topográficas: La zona presenta fuertes pendientes aunado a un suelo delgado y pedregoso (Regosol), lo cual dificulta la entrada de maquinaria.

### **D.S. y C.V.**

La homogeneización de resultados obtenidos (C.V. y D.S.) en suelo y la alta heterogeneidad de resultados en árboles, (vivos y muertos) presentados anteriormente en la sección de resultados depende en gran medida del estado de conservación al que esté sometido.

La alta heterogeneidad florística que presentan dichos ecosistemas (altura, diámetro) aunado a la deforestación presente, se reporta un alto número de individuos jóvenes en las 3 zonas con cobertura forestal y pocos individuos con D.A.P mayor a 10 cm; en árboles vivos la  $SBC_{10 \text{ años}}$  reportó el C.V y D.S. más altos, y en el caso de árboles muertos lo representó la  $SBC_{67 \text{ años}}$ . Cabe señalar que el mayor aporte de carbono acumulado tanto en árboles vivos como muertos se registran en ejemplares de diámetro  $> 10$  cm, a estos resultados en relación al C.V y D.S Martínez 2011, nos menciona que un **bajo coeficiente de variación (C.V.)** se le asocia a una homogeneidad forestal (sin perturbación o en estado primario), mientras que en casos con un **alto coeficiente de variación**, se le asocia a que cada sitio muestreado además de la reforestación inducida pudo haber existido una regeneración natural en algunos sitios, lo que eleva las diferencias en los incrementos en volumen entre sitios, en esta investigación se reportaron en las 3 zonas forestales un alto número de individuos jóvenes sujetos a una escases de ejemplares adultos, por ello se justifica un alto C.V y D.S en la mayoría de las zonas forestales.

En el caso del suelo se analizó el C.V y D.S en las 4 zonas cuyos resultados en comparación al arbóreo fueron más bajos, en donde la actividad pecuario fue la única que reporto valores altos, esto se debe a que dicha actividad ocupa grandes extensiones de suelo con un bajo número de carga animal (Ganadería Extensiva), por lo tanto no es de extrañarse que

algunas muestras recolectadas presentaran más carbono que otras, incrementando así la incertidumbre de los resultados, caso contrario en la actividad agrícola que solamente se requiere de pequeñas superficies aunado a la incorporación de abonos orgánicos sobre suelo de forma homogenizada, factor importante para el agricultor; los niveles de carbono en suelo suelen ser más homogéneos en toda la parcela. Cabe señalar que la  $SBC_{67\text{años}}$  también reporto valores altos en su C.V y D.S en suelo, a esto se le asocia nuevamente a la actividad pecuaria en donde se desarrolla dentro de la selva en época de lluvias, y de estiaje este último solamente para que el ganado tome agua.

## **Implicaciones de manejo**

### **Almacenes aéreos**

Actualmente las zonas forestales no cuentan con algún programa de manejo forestal, la mayoría de las actividades desarrolladas dentro de la selva, se llevan a cabo a criterio y experiencia del propietario.

El almacenes arbóreos se ha visto seriamente afectados como consecuencia de la extracción y aprovechamiento de materias primas forestales (madera, plantas medicinales y comestibles) los resultados son una disminución en cuanto la cantidad como variedad de especies de flora y fauna, a esto se le asocian también algunas prácticas como el pastoreo extensivo dentro de la selva al igual que una continua rotación entre zonas forestales, zonas agrícolas y pastizales esta última con una mayor incidencia dentro de la selva, generado pérdidas de renuevos (árboles jóvenes); la finalidad del ganadero de rotar el ganado entre zonas forestales y pecuarias tiene como objetivo que los pastos se regenere naturalmente al igual que una conservación de algunos árboles con diámetros grandes cuya finalidad es la de proporcionar sombra al ganado, beneficiando en parte los reservorios aéreos .

Otra actividad importante puesta en práctica por la localidad y que tiene un gran impacto benéfico en la regeneración de la selva es la rotación de zonas agrícolas en tiempos cortos, abriendo paso a una regeneración de la selva en aquellas zonas sometidas a esta actividad.

En promedio el número de hectáreas que corresponde a cada habitante es de 2 hectáreas, esto permite de alguna forma una menor presión antrópica en estos sistemas.

### **Almacenes subterráneos**

La pérdida de suelo y de cobertura forestal aunado a las fuertes pendientes genera pérdidas de suelo por erosión hídrica al igual que la compactación de algunas zonas como resultado de actividades de pastoreo.

En las zonas agrícolas existe la incorporación de estiércol como abono natural y en algunos casos se dejan descansar de entre 1 a 2 años. La mayoría de las actividades agropecuarias son de subsistencia, esto como resultado principal de la escasez de recursos económicos, mano de obra, y condiciones topográficas aunado al tipo de suelo.

### **Deterioro y expectativas de recuperación**

Se tiene conocimiento por gran parte de la población, de un cambio negativo del paisaje, cuyos efectos se ven reflejados en la disminución paulatina de la flora y fauna aunado a una degradación importante del suelo, estos dos últimos considerados como una pérdida importantes de carbono a futuro. Existe iniciativa y conocimiento por parte de la comunidad sobre la importancia y beneficios que la Selva Baja Caducifolia **puede brindar** a la comunidad, algunos de mayor importancia para la población son:

- Producción de leña como combustible y para la construcción.
- Conservación de los suelos.
- Aumento y preservación de flora y fauna comestible.
- Recarga de mantos acuíferos.
- Preservación como zona recreativa.
- Considerados como zona de estudios para futuras investigaciones.

Por ello los propietarios pretenden implementar diferentes planes de manejo con fines de proteger y conservar las áreas forestales así como capacitación en la productividad sostenible agrícola y pecuaria, pero se carece de apoyo económico y capacitación por parte del gobierno para la implementación de dichos programas. Sin embargo se han comenzado a reforestar algunas zonas con otras especies ajenas al lugar, pero la mayor parte se reforesta de forma natural, dejan descansar algunas zonas perturbadas por periodos largos, también se tiene conocimiento de trabajos dentro de la selva como son aclareos y brechas corta fuego así como la recolección de madera muerta, potencial combustible en caso de un incendio forestal inducido o natural.

## **Implicaciones a futuro en pérdida o incremento de los almacenes**

### **Pérdidas**

A lo largo del estudio se observa una continua presión antrópica dentro de la selva, esto como resultado de una escasez de recursos económicos, programas de manejo y capacitación. La falta de atención por parte del gobierno a este tipo de ecosistemas aunado al tipo de pendiente, deforestación y actividades agropecuarias que en ella se desarrollan, es posible una pérdida importante del reservorio suelo, al igual que el arbóreo de igual forma el reservorio aéreo se ha visto amenazado no solo como resultado de las actividades antrópicas, sino también por la introducción de especies forestales ajenas en su mayoría de clima templado, pone en riesgo a la flora y fauna en su mayoría endémica, degradando y alterando el endemismo y la velocidad de regeneración de estos ecosistemas.

## **Incrementos**

Las posibilidades de almacenamiento de carbono a futuro en estos ecosistemas son altas; la velocidad de recuperación y adaptación ante un cambio de origen antrópico, aunado a la iniciativa y voluntad de conservar y recuperar la selva baja caducifolia por parte de la comunidad aunado a la implementación de programas y apoyos económicos factibles, propicia en gran medida una viable regeneración total a corto plazo.

Por ello es necesaria la realización de más investigaciones dentro de este tipo de ecosistemas, cuyo objetivo tenga como finalidad el demostrar su importancia en la mitigación y almacenamiento de carbono a corto plazo, al igual que incentivar la introducción de pagos no solo de servicios ambientales, sino también de carbono, dejando a un lado la cantidad que puedan albergar, sino la velocidad para almacenar el carbono en forma de biomasa a corto plazo.

## Conclusiones

En las cuatro zonas muestreadas la mayor cantidad de carbono almacenado se localizó en el suelo a una profundidad de 20 cm sobresaliendo el uso pecuario y agrícola, mientras que en las zonas forestales (SBC<sub>10años</sub>, SBC<sub>67años</sub>) el contenido de carbono en suelo fue menor, sin embargo la suma total de carbono (reservorios aéreo y subterráneo) fue superior en comparación con los usos agrícola y pecuario.

El contenido de carbono arbóreo y suelo en las zonas forestales (SBC<sub>10años</sub>, SBC<sub>67años</sub>) fue similar en ambos casos, sin embargo tomando en cuenta los diferentes estados de perturbación y tiempos de regeneración, la SBC<sub>10 años</sub>, siendo en teoría la zona más afectada por las actividades agropecuarias, igualó en su totalidad la misma cantidad de carbono acumulado en la SBC<sub>67años</sub>, esto se le asocia a una rápida regeneración de la SBC<sub>10 años</sub>, albergando un alto número de individuos jóvenes, con potencial de captura de carbono a futuro, también cabe señalar que el carbono arbóreo actual de la SBC<sub>10 años</sub> corresponden a individuos con diámetros > a 50 cm mientras tanto la SBC<sub>67 años</sub> presentó ausencia de estos ejemplares, la presencia de estos individuos con diámetros grande responde a las prácticas de manejo a las cuevas fueron sometidas.

No obstante el suelo predominante conformado por Regosol + Cambisol, aunado a la pendiente pronunciada exhibe un suelo con baja capacidad agrícola y ganadera, los pobladores difunden estas actividades de manera extensiva en tierras ocupadas por la SBC, en conjunto estos componentes merman la acumulación de materia orgánica y la capacidad de almacenamiento de carbono en los suelos, asimismo el almacenamiento de carbono en el reservorio aéreo de la vegetación nativa es bajo.

Importante punto a tratar es la validación o confiabilidad de los resultados presentados en este estudio en base a un coeficiente de variación y desviación estándar, siendo instrumentos utilizados para aseverar la confiabilidad de los resultados, la alta incertidumbre de los resultados

presentes en este estudio responden no solamente a un estudio de campo más exhaustivo con el finalidad de obtener un mayor número de datos que me permitan homogenizar la información, también permite aclaran de forma sustentada que dichos ecosistemas se encuentran ante una presión antrópica tal es el caso de las zonas forestales que presentaron un alto número de individuos jóvenes y un bajo número de ejemplares adultos, lo que simplifica en importantes sumideros de carbono a futuro, la escasas de individuos grandes siguiere un aprovechamiento forestal selectivo, aquellos individuos que logran prevalecer hoy en día se convierten en importantes reservorios de carbono actual, lo que contribuyó de igual forma en un gran aporte del carbono almacenado sobre y bajo el suelo.

En algunos casos la rápida regeneración de los reservorios se asocia de forma indirecta a la escasas de recursos económicos, la falta de mano de obra joven, asociados a un alto índice de migración de población, aunado a la problemática de inseguridad actual, lo cual representa hasta cierto punto, nuevas alternativas y oportunidades de regeneración natural de estos ecosistemas.

A pesar de contar con ventajas que permitan una recuperación natural de la selva, las prácticas de manejo actual aunado a las condiciones topográficas y el tipo de suelo, son factores que generan pérdidas importantes de carbono en dicho ecosistema, a pesar de ello se observa una alta capacidad de resistencia ante las actividades antrópicas, otros estudios respaldan dicha aseveración, por ello es preciso hacer hincapié en dichos ecosistemas ya que son importantes sumideros de carbono a corto plazo, de igual forma albergan una gran variedad de especies endémicas tanto de flora como de fauna.

Actualmente no existen programas que incentiven el pago de captura de carbono en Selva Baja Caducifolia.

## Bibliografía

- Achard, F., Eva, H. D., Mayaux, P., Stibig, H. J. y Belward, A (2004). *Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s* Global Biogeochemical Cycles, 18, GB2008.
- Acosta, M., Carrillo, E. y Díaz, M. (2009), *Determinación del Carbono Total en Bosques Mixtos de Pinus Patula Schl. Et Cham*, México, Tierra Latinoamericana 27: 108-113.
- Aide, T. M. y Grau, H. R. (2004). *Globalization, Migration, and Latin American Ecosystems*. Science, 305, 1915-1916.
- Álvarez, A. G., García, C. N., Krasilnikov, P. y García, O. F. (2013). *Almacenes de Carbono en Bosque Montanos de Niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México*, Agrociencia 47: 172-179.
- Amundson, R. (2001), *The carbon budget in soils. Annual Review of Earth and Planetary. Sciences*, 29, 535-562.
- Angers, D. A., Carter, M.R., Gregorich, E.G., Bolinder, M. A., Donald, R. G., Voroney, R.P., Drury, C.F., Liang, B.C., Simard, R.R, Beyaert, R. P. (1995). *Agriculture management effects on soil carbon sequestration in Eastern Canada*. NATO ASI Series. Vol 1 33 Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg. pp. 253-264.
- Anzaldo, C. y Prado, M. (2007) *Índice de Marginación a Nivel Local 2005*. México CONAPO.
- Avendaño, D.H., Acosta. M., Carrillo F. y Etchevers J. D. (2007). *Estimación de la biomasa y carbono en árboles de Abies religiosa (H.B.K) Schl. et Cham., mediante ecuaciones alométricas*. In. VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Morelia, Michoacán. ISBN: 968-7469-81-1: 1-9.
- Barradas, V. y Adem, J. (1993). *Albedo model for a tropical dry deciduous forest in wester Mexico. En International Journal of Biometeorology* Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1007%2F01208922#page-2>. (36): 113-114.
- Brown, J. K., Oberheu, R.D. y Johnston, C. M. (1982). *Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior west*. Gen. Tech. Rep. INT-129. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station.
- Brown, S., Gillespie, J. R. A. y Lugo, E. A. (1989). *Biomass Estimation Methods For Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data*. Forest Science 35(4): :881-902.
- Brown, S. y Lugo A. (1990). *Tropical secondary forests. Journal of Tropical Ecology* 6: 1-32.
- Ceballos, G., Rurik L., Garduño, G., López, C. R., Muñoz, C. M, y Collado, E. (2008). *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de estado, Biblioteca*

*Mexiquense del Bicentenario*. Colección Mayor. Gobierno del Estado de México-Secretaría del Medio Ambiente, México: 501.

Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, C. J. y Dirzo R. (2010). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México*. CONABIO, México: 271.

Chave, J., Olivier, J., Bongers, F., Chatelet, P., Forget, P. M., van der Meer, P., Norden, N., Riera, B., y Charles, D. P. (2008). *Above-ground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America*. *Journal of Tropical Ecology*, 24: 355-366.

CONAFOR Comisión Nacional Forestal (2013). *El 82 por ciento de la deforestación en México es por cambio de uso del suelo*. México: Boletín 105, Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4724El%2082%20por%20ciento%20de%20la%20deforestaci%C3%B3n%20en%20M%C3%A9xico%20es%20por%20cambio%20de%20uso%20del%20suelo.pdf> (2013, 15 de Marzo).

Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., y Totterdell, I. J. (2000). *Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model*, *Nature*. 408: 184-187.

Dao, T. H. (1998). *Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll*, *Agronomy Journal* 88: 141-148.

De Deyn, G. B., Cornelissen, J. H. C., y Bardgett, R. D. (2008). *Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes*, *Ecology Letters*, 11, 516-531.

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

Escobar, E., M. Maass *et al.* (2008). *Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas, en Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México: 161-189.

Estrada, S. A y Návar, J. (2009). *Flujos de carbono por deforestación en la selva baja caducifolia del estado de Morelos, México*, XIII Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, Argentina, 18-23 Octubre 2009: 1-9.

Ewel, J. (1980). *Tropical succession: manifold routes to maturity*. *Biotropica* 12 (Suppl. Trop. Succession): 2-7.

Figuroa, S. E. (2000). *Uso Agroecológico, Actual Y Potencial, De Especies Arbóreas En Una Selva Baja Caducifolia Perturbada Del Suroeste Del Estado De México*, Tesis, Maestría Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México: 77-83.

Fisher, R. F. y Binkley, D. (2000). *Ecology and management of forest soils*. *John Wiley & Sons*. New York: 489.

Follett, R. F. (2001). *Soil management concepts and carbon sequestration cropland soils*. Soil y Tillage Research 61: 77-92.

Francis, J. K. (1988). *Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb. Guanacaste, Earpod-tree. Leguminosae. Legume family. SO-ITF-SM-15*. USDA Forest Service, Institute of Tropical Forestry, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana.

Grace, J. (2004). *Understanding and managing the global carbon cycle*, Journal of Ecology, 92: 189-202.

Grace, J., San José, J., Meir, P., Miranda, H. S., y Montes, R. A. (2006). *Productivity and carbon fluxes of tropical savannas*, Journal of Biogeography, 33: 387-400.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC). (2001). *Land use, land use change and forestry*. A special report. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Guerra, A. y Sánchez, P. G. (2013). *Propuesta de mejora de cuantificación de Carbono en detritus, madera muerta y biomasa viva para el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. España: Sociedad Española de Ciencias Forestales.

Gueye, K. S. (2010). *Potencial de Captura de Carbono en Suelo de Ladera en la Subcuenca del Río Piricua en Tuxpan , Michoacán*. (Tesis de Maestría en Geografía). CIGA, UNAM.

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

Guo, L. B., Wang, M. y Gifford R .M. (2007). *The change of soil carbon stocks and fine root dynamics after land use change from a native pasture to a plantation*. Plant an Soil, 299: 251-262.

H. Ayuntamiento de Tlatlaya 2009 – 2012. *Plan de Desarrollo Municipal de Tlatlaya Estado de México*. México.

H. Ayuntamiento de Tlatlaya 2013 – 2015 *Plan de Desarrollo Municipal de Tlatlaya Estado de México*. México.

Herrick, J. E. y Wander, M. M. (1998). *Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: the importance of distribution, composition and soil biological activity*. In: Lal, R., Kimble, J., Follett, J., Stewart, B.A. (Eds.), *Advances in Soil Science: Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Houghton, R. A. (1995). *Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850*, In: (eds). *Soils and Global Change*. Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B.A. CRC y Lewis Publishers, Boca Raton, FL: 45-65.

Houghton, R. A. (2005). *Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance*, *Global Change Biology*, 11: 945-958.

Houghton, R. A. (2007). *Balancing the carbon budget*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35: 313-347.

Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., Oosting, S., Gerber, P.J., Henderson, B. y Makkar, H. (2013). *Mitigación de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Producción Ganadera*. FAO Producción y Sanidad Animal.

Hughes, R., Kauffman J. B. y Jaramillo, V. J. (1999). *Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid region of México*. *Ecology* 80:1892-1907.

Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F. y Rojas, J. (2007). *Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua*. *Agroforestería en las Américas* N° 45: 32-33.

IGCEM. (2011). *Estadística Básica Municipal del Estado de México Tlatlaya Gobierno del Estado de México*. Disponible en: <http://iiigecem.edomex.gob.mx/descargas/estadistica/ESTADISTICABMUNI/ESTADISTICABASI/ARCHIVOS/Tlatlaya.pdf>.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2005) II Censo de Población y Vivienda 2005.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). *Censo Agrícola Ganadero y Forestal, México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010: Principales Resultados por Localidad*.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011). *Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria*.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2000). *Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Cambridge University Press, Cambridge Disponible en [http://www.grida.no/climate/ipcc/land\\_use/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/index.htm).

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *The climate change: the scientific basis*. (3er reporte). Acceso electrónico [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/).

Janzen, D. (1988). *Tropical dry forests, the most endangered major tropical ecosystem*. En E.O.Wilson y F. M. Peter (eds.). *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C: 130-137.

Jaramillo Víctor J., Kauffman Boone *et al.*, (2003). *Biomass, Carbon and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes, USA*. Departamento de Ecología

de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ecosystems: 612-621.

Jong, B. H., Cairns, M. A., Haggerty, P., Ramírez, M. N., Ochoa, G. S., Mendoza, V J., González, E. M. y March, M. I. (1999). *Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in Central Highlands of Chiapas, México*. Environ. Manage. 23: 373-385.

Kirby, K.R. y Potvin, C. (2007). *Species-level management in carbon sink projects: a case study from an Embera territory in eastern Panama*. Forest Ecology and Management: 246.

Lal, R. (2008), *Carbon sequestration*, Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 363: 815-830.

Lewis, S. L., López, G, Gabriela, Sonke, Bonaventure, ffum- Baffoe, Kofi, Baker, Timothy R., Ojo, Lucas O., Phillips, Oliver L., Reitsma, Jan M., White, Lee, Comiskey, James A., Marie-Noel, Djuikouo, Ewango, Corneille E. N., Feldpausch, Ted R., Hamilton, Alan C., Gloor, Manuel, Hart, Terese, Hladik, Annette, Lloyd, Jon, Lovett, Jon C., Makana, Jean Remy, Malhi, Yadvinder, Mbago, Frank M., Ndangalasi, Henry J., Peacock, Julie, Peh, Kelvin S. H., Sheil, Douglas, Sunderland, Terry, Swaine, Michael D., Taplin, James, Taylor, David, Thomas, Sean C., Votere, Raymond, & Woll, Hannsjorg (2009), *Increasing carbon storage in intact African tropical forests*, Nature, 457: 1003-1006.

López E., Bocco, G., Mendoza, M., Velázquez, A. y Aguirre, R. (2006). Peasant emigration and land-use change at the watershed level. A GIS-based approach in Central Mexico. Agricultural Systems 90: 62-78.

Luyssaert, S., Inglima, I., Jung, M., Richardson, A. D., Reichsteins, M., Papale, D., Piao, S. L., Schulzes, E. D., Wingate, L., Matteucci, G., Aragao, L., Aubinet, M., Beers, C., Bernhoffer, C., Black, K. G., Bonal, D., Bonnefond, J. M., Chambers, J., Ciais, P., Cook, B., Davis, K. J., Dolman, A. J., Gielen, B., Goulden, M., Grace, J., Granier, A., Grelle, A., Griffis, T., Grunwald, T., Guidolotti, G., Hanson, P. J., Harding, R., Hollinger, D. Y., Hutyra, L. R., Kolar, P., Kruijt, B., Kutsch, W., Lagergren, F., Laurila, T., Law, B. E., Le Maire, G., Lindroth, A., Loustau, D., Malhi, Y., Mateus, J., Migliavacca, M., Misson, L., Montagnani, L., Moncrieff, J., Moors, E., Munger, J. W., Nikinmaa, E., Ollinger, S. V., Pita, G., Rebmann, C., Roupsard, O., Saigusa, N., Sanz, M. J., Seufert, G., Sierra, C., Smith, M. L., Tang, J., Valentini, R., Vesala, T., & Janssens, I. A. (2007). *CO<sub>2</sub> balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database*, Global Change Biology, 13: 2509-2537.

Maldonado, B. (1997). *Aprovecha miento de los recursos florísticos en la Sierra de Huautla, Morelos*. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. México: 149.

Malhi, Y. y Grace, J. (2000), *Tropical forests and atmospheric carbon dioxide*, Trends in Ecology and Evolution, 15: 332-337.

Manzano, M. G. y Hernández, J. C. (2008). *Estimación de la captura de carbono en Ecosistemas de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda*. Reporte de Investigación del Centro de Calidad Ambiental. ITESM – Campus Monterrey.

Martínez, J. D. (2011). *Incrementos Volumétricos Y De Biomasa Aérea En Reforestaciones De Pinus Patula Schl. Et Cham., En Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca*. Tesis INGENIERO FORESTAL. Universidad De La Sierra Juárez.

Masera, O. R., Ceron, A. D. y. Ordóñez, J. A. (2001). *Forestry Mitigation Options for México: Finding Synergies Between National Sustainable Development Priorities and Global Concerns*. Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change 6(3-4): 289-310.

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

Meave A., J., Rincón, A., y Romero, R. M. A. (2006). *Oak forests of the hyper-humid region of La Chinantla, Northern Oaxaca range, México*. In: Kappelle, M. (ed). Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests. Ecological Studies 185. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg: 113-125.

Milchunas, D. G. y Lauenroth, W. K. (1993). *Quantitative effects of grazing on vegetation and soil over a global range of environments*. Ecological Monographs 63: 327-366.

Miranda, F. y Hernández, E. (1963). *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*. Bol. Soc. Bot. Mex. 29: 1-179.

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

Orozco, H. M. E., Mireles. L. P., Valdez, P. M. E., Peña, M. V. (2011). *Incendios Forestales y Degradación de los Ecosistemas Terrestres: Impactos Locales y Emisiones Globales*. Exploración de la Situación en el Estado de México. Universidad de Costa Rica. Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011.

Ovalles, V.F. (1999): Evaluación de tierras en zonas tropicales. Uso de la geo estadística. II curso de Posgrado de Manejo de suelos tropicales. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Universitat de Lleida. España.

Paz Fernando. (s.f) *Evaluación, Importancia y Prospectiva de la Captura de Carbono y reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero en Pastizales y Matorrales: Hacia la Implementación de la REDD++*. Grupo de Gestión de Riesgos y Recursos Naturales Asistida por Sensores Remotos, Colegio de Postgraduados, México-Texcoco, Montecillo, Estado de México: párrafo 5.

Peña, L. J. (2006) *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio*. 3a edición. San Vicente. Editorial Club Universitario: 42.

Post, W. H., Emanuel, W. R., Zinke, P. S y Stangenber, A. G. (1982), *Soil carbon pools and world life zones*. Nature, 298: 156-159.

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

Radiación solar (s.f.) Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~agromet/curso/1-2/TeoRadiacion.pdf>.

Rzedowski J. (1986). *Vegetación de México*. Limusa, México, D.F.

Rzedowski, L. (1991). *Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México*. Acta Botánica Mexicana: 14:3–21.

Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Sánchez, J., Recatalá I., y Goberna M. (2004). *Secuestro de Carbono Inorgánico en el Suelo: Una Primera Estimación En El Ámbito Semiárido Español*. España. Edafología, Vol. 11 (3): 309-317.

SARH Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1994). *Inventario Nacional Forestal Periódico*. México: SARH.

Schlesinger W.H. (1990) *Evidence from chronosequence studies for a low carbón-storage potential of soil*. Nature, 348: 232-234.

Scurlock, J. M. O. y Hall, D. O. (1998). *The global carbon sink: a grassland perspective*, Global Change Biology, 4: 229-233.

SEMARNAT-INE Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (2006). *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, 1990-2002*. México. Instituto Nacional de Ecología.

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología. (2012a). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*, Edición 2012 México: 58.

SEMARNAT-INE Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2012b). México Quinta Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. 2012. Ciudad de México: Gobierno de la República. Recuperado de: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc5s.pdf>-Seemoreat: 442.

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2013). *Programa de Manejo Monumento Natural Yagul*. México.

SEDESOL (2013). *Unidad De Microrregiones Dirección General Adjunta De Planeación Micro regional*.

Smith J. E. y Heath L. S. (2002). *A model of forest floor carbon mass for United States forest types. General Technical Report*, USDA Forest Service, Northeastern Research Station, Newtown Square, PA. En Prensa.

Soil Classification Working Group. (1998), *The Canadian System of Soil Classification*, 3rd ed. Agriculture and Agri-Food Canada Publication 1646.

Trejo, I. (1998). *Distribución y diversidad de selvas bajas en México: relaciones con el clima y el suelo*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., Heijden, G., Jenkins, M. y Manning, P. (2009). *¿La Solución Natural? El Papel de los Ecosistemas en la Mitigación del Cambio Climático*. Evaluación Rápida del Pnuma.

Wadsworth, F.H. (2000). *Producción forestal para América Tropical*. Manual de agricultura 710-S. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service. Washington DC, US: 563.

Zimmermann, Erich. (1933). *Resources World and Industries*. New York: Harper y Brothers. Disponible en: <http://perc.org/articles/are-we-running-out-oil#sthash.Xv7ZXR2J.dpuf>.

## Anexos

### Localización y características de las zonas forestales y usos agropecuarios

Localización y Características en 2 coberturas forestales y 2 usos de suelo								
Uso	Localidad	Coordenadas		Altitud (msnm)	Descripción del relieve		Evidencias de erosión	
		X	Y		Pendiente (°)	Orie.	Evaluación	Tipo
SBC (67 años)	El Suchual de Santa Ana	367167	2055282	930	Escarpado (27-36%)	NE	Moderada Severa	Hídrica: Laminar
SBC (10 años)	El Suchual de Santa Ana	367250	2055187	873	Muy escarpado > 36%)	NO	Severa	Hídrica: Laminar
Pecuario	El Suchual de Santa Ana	367278	2055269	895	Escarpado (27-36%)	NO	Severa	Hídrica: Laminar
Agrícola	El Suchual de Santa Ana	367285	2055028	946	Muy escarpado > 36%)	NE	Extremo	Hídrica: Laminar

**Muestras de suelo recolectadas en campo y previos resultados de las 2 zonas forestales y 2 zonas con actividad agropecuarias a una profundidad de 20 cm.**

SBC 67 años				
Clave	Profundidad	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	% C	MgC·ha <sup>-1</sup>
S452	20 cm	0.67	3.28	44.00
S453	20 cm	0.67	1.88	25.28
S454	20 cm	0.67	2.73	36.67
S455	20 cm	0.67	3.16	42.36
S456	20 cm	0.67	2.00	26.89
S457	20 cm	0.67	2.79	37.47
S458	20 cm	0.67	2.85	38.31
S459	20 cm	0.67	3.64	48.81
S460	20 cm	0.67	3.94	52.91

SBC 10 años				
Clave	Profundidad	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	% C	MgC·ha <sup>-1</sup>
S465	20 cm	1.05	2.55	53.55
S466	20 cm	1.05	3.16	66.37
S467	20 cm	1.05	2.12	44.63
S468	20 cm	1.05	1.27	26.78
S469	20 cm	1.05	1.33	28.01
S470	20 cm	1.05	1.64	34.46
S471	20 cm	1.05	1.27	26.76
S472	20 cm	1.05	1.70	35.68
S473	20 cm	1.05	1.58	33.15

<b>Pecuario</b>				
<b>Clave</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% C</b>	<b>MgC·ha<sup>-1</sup></b>
<b>S477</b>	20 cm	1.03	3.09	63.89
<b>S478</b>	20 cm	1.03	1.94	40.09
<b>S479</b>	20 cm	1.03	3.03	62.68
<b>S480</b>	20 cm	1.03	2.91	60.09
<b>S481</b>	20 cm	1.03	3.28	67.79
<b>S482</b>	20 cm	1.03	1.94	40.11
<b>S483</b>	20 cm	1.03	2.97	61.38
<b>S484</b>	20 cm	1.03	2.12	43.85
<b>S485</b>	20 cm	1.03	1.46	30.08

<b>Agrícola</b>				
<b>Clave</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% C</b>	<b>MgC·ha<sup>-1</sup></b>
<b>S491</b>	20 cm	1.12	2.49	56.00
<b>S492</b>	20 cm	1.12	2.06	46.34
<b>S493</b>	20 cm	1.12	2.37	53.19
<b>S494</b>	20 cm	1.12	2.00	44.99
<b>S495</b>	20 cm	1.12	1.94	43.65
<b>S496</b>	20 cm	1.12	1.98	44.61
<b>S497</b>	20 cm	1.12	2.11	47.52
<b>S498</b>	20 cm	1.12	1.76	39.61
<b>S499</b>	20 cm	1.12	1.82	40.99



Fuente: Foto tomada el 20/04/2013 (El Suchual de Santa Ana, Municipio de Tlatlaya, Estado de México).