



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



---

**ESTIMACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO EN  
SUELOS, BAJO DIFERENTES SISTEMAS  
PRODUCTIVOS AGROPECUARIOS EN EL  
MUNICIPIO DE ZACAZONAPAN, ESTADO DE  
MÉXICO**

---

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTA**

**Torres García Abraham Agustín**

**DIRECTORAS:**

**Dra. en G. Estela Orozco Hernández**

**M. en C. Patricia Mireles Lezama**

**CONACYT- SEMARNAT 107956**

---

## *AGRADECIMIENTOS*

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de México por brindarme los medios para mi formación profesional y por haberme brindado la oportunidad de escalar un peldaño más en el campo del conocimiento.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo y patrocinio para la realización de éste proyecto de tesis, que forma parte del proyecto: "CAMBIOS DE USO DEL SUELO INDUCIDOS POR ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN ECOSISTEMAS TERRESTRES TEMPLADOS Y CÁLIDOS DEL ESTADO DE MÉXICO; IMPACTOS LOCALES Y EMISIONES GLOBALES DE GASES EFECTO INVERNADERO".

Agradezco sinceramente a mis directoras de tesis, la Dra. en G. Estela Orozco Hernández por la vinculación al proyecto, además de su confianza y dedicación en la elaboración de este trabajo, y a la M. en C. Patricia Mireles Lezama por su paciencia, apoyo durante la realización del trabajo y por la amistad que me ha brindado desde siempre; a las dos muchísimas gracias.

Agradezco al Sr. Bernardino Villafaña Pérez y al Sr. Majensio Rodríguez Vilchis por todas las facilidades y atenciones brindadas para la realización en el trabajo de campo.

---

## *DEDICATORIAS*

A Dios que me ha brindado la vida y por haberme permitido terminar mi licenciatura, por darme salud y fuerzas para poder concluir mi trabajo de tesis, además de su infinita bondad y amor.

A mi Mamá por el apoyo que me brinda en todo momento, por sus consejos, la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y sobre todo por su amor.

A mi Papá por los ejemplos de perseverancia y constancia que me ha infundido siempre para cumplir mis objetivos y por el valor mostrado para salir adelante.

A mi Hermana que nunca titubeo para ayudarme y apoyarme en todo momento; gracias por tus consejos y todo tu apoyo incondicional.

A mis Familiares que han fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de ésta tesis.

## CONTENIDO

---

Resumen.....	4
Abstract.....	5
Introducción.....	6
Capítulo 1 Marco teórico de referencia.....	9
1.1 Contexto del cambio climático y el ciclo de carbono.....	9
1.1.1.- Carbono atmosférico.....	11
1.1.2 Carbono orgánico en el suelo.....	13
1.1.3. La agricultura fuente y sumidero de carbono.....	14
1. 2.-Casos de estudio.....	16
1. 3.- Enfoques de investigación.....	23
1.3.1.- Enfoque de las ciencias ambientales.....	23
1.3.2.- Enfoque sistémico.....	23
1.4.- Variables de la investigación.....	29
1.4.1.-Suelo.....	29
1.4.2.- Materia orgánica.....	31
1.4.3.- Sistemas productivos.....	34
1.4.3.1.- Sistema agrícola.....	34
1.4.3.2.- Sistema de producción ganadera.....	37
1. 5.- Discusión de las aportaciones del capítulo.....	38
Capítulo 2 Caracterización de Zacazonapan.....	42
2.1.- Localización del área de estudio.....	42
2.2. Componentes físico naturales.....	43
2.3. Componentes bióticos.....	51
2.4. Componentes sociales y económicos.....	54
2.5. Sectores económicos y ocupación de la población.....	55
2.6.- Discusión de las aportaciones del capítulo.....	59
Capítulo 3. Estimación de carbono en suelos y sistemas productivos.....	61
3.1.- Métodos.....	61
3.2 Establecimiento de las zonas de muestreo.....	63

3.2.1 Profundidad de muestreo.....	64
3.2.2 Procedimiento de muestreo.....	64
3.3 Metodología aplicada.....	64
3.4 Metodología del análisis fisicoquímico.....	65
3.5. Descripción de los sistemas productivos, muestreo y resultados de laboratorio. .....	70
3.5.1. Punto 1. (La Alcantarilla, Los Huajes).....	71
3.5.2. Punto 2 (La cruz).....	72
3.5.3. Punto 3 (La Alcantarilla, La Mesa).....	75
3.5.4. Punto 4 (La cruz).....	76
3.5.5. Punto 5 (Caña de Azúcar).....	78
3.6. Discusión de resultados.....	79
Conclusiones.....	83
Bibliografía consultada.....	85
Anexos.....	89
Tabla de unidades.....	89
Instrumentos para registra información del muestreo en campo.....	89

## RESUMEN

---

En México existen pocos estudios sobre el recurso suelo en climas cálidos y sobre su potencial de almacenamiento de carbono orgánico, el estudio presenta los resultados de la estimación de la captura de carbono orgánico en suelo bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el municipio de Zacazonapan Estado de México. En el ambiente cálido del municipio no solo las condiciones físicas y biológicas del suelo inciden en las variaciones del contenido de carbono de los sistemas productivos analizados, sino más aún, la intervención humana a través de las prácticas de manejo tienen un papel principal en la explicación de las variaciones del contenido de carbono y materia orgánica en los suelos. Los cinco sistemas productivos identificados en la zona de estudio son representativos de la adaptación del uso de la tierra a las condiciones biofísicas prevalecientes en parcelas ubicadas en planicie y laderas. Estos son: Sistema pastoril o extensivo (La alcantarilla, Los huajes), sistema pastoril o extensivo (La Cruz), sistema de agricultura extensiva o de temporal (La Alcantarilla, Los Huajes, La mesa), sistema de agricultura extensiva o de temporal (La Cruz), sistema agrícola de riego (Caña de azúcar). El estudio se apoyó en la clasificación de los sistemas productivos de la FAO y los parámetros de fertilidad de suelo que establece la NOM-021RECNAT-2000, ambos instrumentos y el trabajo de campo permitieron determinar el volumen de carbono en toneladas, que captura cada uno de los sistemas productivos. Las muestras de suelo se colectaron en sitios seleccionados y posteriormente se procesaron en el laboratorio de Ciencias Ambientales de la Facultad de Planeación Urbana y Regional.

## ABSTRACT

---

In Mexico there are few studies about soil resources in warm climates and their storage potential of organic carbon, the study presents the results of the estimation at the organic carbon sequestration in different agricultural production systems in the Zacazonapan town in Mexico State. In the warm atmosphere of the town not only the physical and biological soil variations affect the carbon content of production systems analyzed, but even more, human intervention through management practices have a role in explaining variations of carbon content and organic matter in the soil. The five production systems identified in the study are representative of the adaptation of ground use to the biophysical conditions prevailing in plots located in plains and hillsides. These are: pastoral system or extensive (La Alcantarilla, Los Huajes), pastoral system or extensive (La Cruz), extensive farming system or temporary (La Alcantarilla, Los Huajes, La Mesa), extensive farming system or temporary (La Cruz), agricultural irrigation system (Caña de Azúcar). The study was based on the classification of production systems of FAO and soil fertility parameters established by NOM-021RECNAT-2000, both instruments and field work allowed to determine the volume in tonnes of carbon, which captures each production systems. Soil samples were collected at selected sites and then processed in the Environmental Sciences Laboratory of the School of Urban and Regional Planning.

## Introducción

---

La problemática ambiental que abarca entre otros temas la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha llevado a estudiar diferentes aspectos para aminorar el impacto negativo incrementado por el ser humano, esta situación ha influido a nivel global para estudiar las formas de contrarrestar este problema mediante la captura de carbono principalmente en bosques templados, sin embargo no se ha valorado lo suficiente el potencial del suelo en su condición de principal almacén de carbono orgánico. Es más amplio el vacío de conocimiento en suelos sujetos a diferentes usos productivos situados en clima cálido.

En México existen pocos estudios sobre el recurso suelo en climas cálidos y sobre su potencial de almacenamiento de carbono orgánico, estas son las razones principales por las que en el presente estudio, la finalidad del trabajo se centro en la estimación de la captura de carbono orgánico en suelo bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el municipio de Zacazonapan Estado de México. En esta perspectiva el manejo realizado por los productores es un factor fundamental que incide en la capacidad de los suelos para almacenar carbono orgánico.

El diseño de esta investigación partió de los objetivos del proyecto: “Cambios de uso del suelo inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México: impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero”, clave CONACYT-SEMARNAT 107956, y los planteamientos que permitieron organizar los procedimientos de trabajo específicos se exponen a continuación.

### **i. Justificación**

Existen pocos estudios sobre el recurso suelo en climas cálidos y sobre su potencial de almacenamiento de carbono orgánico, esta es la razón principal para estimar la captura de carbono orgánico en suelo bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el municipio de Zacazonapan Estado de México.

## **ii. Planteamiento del problema**

El interés surge debido a que el estudio sobre la captura de carbono en suelos agropecuarios ha sido poco abordado en México, el 25% de la emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel global es del sector agropecuario y en México el sector contribuye con 1.6% de las emisiones. Tomando en cuenta que el reto es revertir la función del sector agropecuario de fuente de emisión a sumidero de carbono, es muy importante identificar el papel que está desempeñando el suelo como reservorio de carbono orgánico asociado a los sistemas productivos y estrategias de manejo. En el municipio de Zacazonapan los sistemas productivos principales son la agricultura y la ganadería, estas actividades se desarrollan frecuentemente en tierras con vegetación natural, tanto en zonas planas como en pendientes o laderas, lo que significa que los suelos en los que se sustentan las actividades mencionadas tendrán una capacidad diferente para almacenar carbono orgánico, lo cual está asociado a las condiciones del terreno y a las prácticas de manejo.

## **iii. Pregunta de investigación**

¿Qué sistemas productivos y qué tipo de manejo de suelo es favorable para tener una mayor captura de carbono?

## **iv. Objetivos**

### **Objetivo general**

Estimar la captura de Carbono en suelo bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el municipio de Zacazonapan Estado de México, en el año 2011.

### **Objetivos particulares**

- ❖ Identificar las características fisiográficas, edáficas, sociales agropecuarias del Municipio de Zacazonapan.
- ❖ Caracterizar los sistemas productivos agropecuarios del municipio de Zacazonapan Estado de México.

- ❖ Obtención de muestras de suelo en campo su caracterización fisicoquímica y para cuantificar el carbono capturado.
- ❖ Medir las concentraciones de carbono en suelo, bajo diferentes sistemas agropecuarios y contrastarlos entre ellos.
- ❖ Analizar los factores físicos y químicos que intervienen en la captura de Carbono en los suelos agropecuarios de diferentes sistemas productivos.

El estudio se apoyó en la clasificación de los sistemas productivos desarrollados por la FAO y los parámetros de fertilidad de suelo que establece la NOM-021RECNAT-2000, también se realizaron entrevistas a los productores para caracterizar el manejo en los sistemas productivos y se recolectaron las muestras de suelo en campo, que posteriormente se procesaron en el laboratorio para determinar el volumen de carbono en toneladas, que captura cada uno de los sistemas productivos que se estudiaron.

El estudio se integra por tres capítulos, en el primero se desarrolla brevemente el marco general del cambio climático, los subtemas de carbono atmosférico y orgánico, la agricultura fuente de emisión y sumidero potencial de carbono, los casos de estudio, los enfoques de investigación, las variables de la investigación: suelo, materia orgánica y sistemas productivos y finaliza con la discusión de las aportaciones del capítulo.

En el capítulo dos se realiza la caracterización del municipio de Zacazonapan a partir de su localización, componentes físico naturales, bióticos, y los componentes sociales y económicos, la caracterización de los sistemas productivos agropecuarios y la discusión de las aportaciones de este capítulo. El capítulo tres medular en esta investigación, expone la estimación de las concentraciones de carbono en suelo bajo cinco sistemas productivos, inicia con la explicación de los métodos generales, el procedimiento para establecer los sitios de muestreo, la metodología aplicada, la descripción de los sistemas productivos, muestreo de campo y los resultados de laboratorio, la discusión de resultados, finalmente las conclusiones, la bibliografía y los anexos.

## Capítulo 1 Marco teórico de referencia

---

Éste capítulo tiene el objetivo de comprender los factores que intervienen y que deben de considerarse para realizar la estimación de la captura de carbono en el suelo.

Se aborda el cambio climático para dar un panorama general sobre lo que está pasando con las emisiones de CO<sub>2</sub>; la teoría general de los sistemas para entender el enfoque con que debe verse el suelo y por lo tanto la captura de carbono en él, ya que este es un sistema dinámicamente activo; la importancia que tienen las ladera sobre la captura de carbono en el suelo y porqué es importante medir el carbono en este elemento del paisaje en específico, se describen también los sistemas productivos que clasifica la FAO ya que en ellos se realizó la medición del carbono , más adelante se toca el tema del carbono, sus ciclos y algunos datos de emisiones de carbono, por último en este capítulo se trata el tema de la materia orgánica , ya que este factor es muy importante en la estimación de carbono en el suelo.

### 1.1 Contexto del cambio climático y el ciclo de carbono

---

El Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC), señala que la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente 0.6°C en el último siglo y que las emisiones de dióxido de carbono por quema de combustibles, han aumentado a 6.25 mil millones de toneladas en 1996, este año fue uno de los cinco años más calurosos que existe en los registros desde 1866. Estimaron que los daños relacionados con desastres climáticos llegaron a 60 mil millones de US\$ en ese año.

De acuerdo con el IPCC, la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) incrementaría la temperatura terrestre entre 1 y 3.5°C., lo que equivale a volver a la última glaciación, en la dirección inversa. Y que el aumento de temperatura sería el más rápido en los últimos 100.000 años, haciendo difícil que los ecosistemas del mundo se adapten.

El principal cambio climático a la fecha ha sido el balance de gases que forma la atmósfera. Esto es especialmente notorio en gases invernadero claves como

el CO<sub>2</sub>, Metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Estos gases naturales son menos de una décima de un 1% del total de gases de la atmósfera, pero son vitales pues actúan como una "frazada" alrededor de la Tierra, sin esta capa la temperatura mundial sería 30°C más baja (IPCC, 2000 ).

Actualmente existe el consenso científico sobre las alteraciones que experimentará el clima global en el siglo XXI (Ibíd.). Se estima que al aumentar la temperatura, también aumenten los patrones de precipitación global. Aunque existe un acuerdo general sobre que, hay una gran incertidumbre con respecto a las magnitudes y las tasas de estos cambios a escalas regionales (J.La Salle 2008)

Por otro lado, al CO<sub>2</sub>, el metano, los óxidos nitrosos, ozono, halocarbonos, aerosoles, entre otros cumplen un rol crucial en la dinámica atmosférica.

Lo importante para este trabajo es la identificación de los el ciclo de vida de cada uno de los gases emitidos (fuentes) y capturados (almacenes) del suelo a la atmósfera y viceversa. Una fuente es el punto o lugar donde un gas, o contaminante es emitido a la atmósfera. Un reservorio es un punto o lugar en el cual el gas es removido de la atmósfera, incluye océanos, hielos y tierra. El ciclo de vida denota el periodo promedio que un contaminante se mantiene en la atmósfera, esto se determina por las velocidades de emisión y de captación en los reservorios.

El carbono es el más importante de los gases menores, se libera desde el interior de la tierra a través de fenómenos tectónicos, la respiración, procesos de suelos y combustión de compuestos con carbono y la evaporación oceánica. Por otro lado es disuelto en los océanos y consumido en procesos fotosintéticos.

### 1.1.1.- Carbono atmosférico

---

Desde la aparición de los seres humanos el suelo ha sido una pieza clave para su desarrollo, sobre el suelo el hombre la producción de alimentos a través de la agricultura y la ganadería. Gran parte de las actividades humanas emiten al medio ambiente  $\text{CO}_2$  y el suelo es capaz de capturarlo en forma de carbono orgánico.

Los mayores depósitos de carbono se encuentran en los sedimentos, océanos y combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural). Las plantas al crecer también fijan y almacenan carbono.

El carbono, principalmente en forma de  $\text{CO}_2$ , se intercambia mediante procesos naturales entre la atmósfera, la vegetación terrestre, y la hidrosfera. Este ciclo se lleva a cabo por la fotosíntesis en plantas, respiración en organismos, y por la disolución de este gas en el agua.

La devolución a la atmósfera se hace cuando en la respiración los seres vivos oxidan los alimentos produciendo  $\text{CO}_2$ . En el conjunto de la biosfera la mayor parte de la respiración la hacen las raíces de las plantas y los organismos del suelo y no, como podría parecer, los animales más visibles.

La solubilidad de este gas en el agua es muy superior a la de otros gases, como el  $\text{O}_2$  o el  $\text{N}_2$ , porque reacciona con el agua formando ácido carbónico. En los ecosistemas marinos algunos organismos convierten parte del  $\text{CO}_2$  para formar sus conchas, caparazones o los arrecifes.

Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sin la intervención humana sería liberado a la atmósfera en erupciones volcánicas, incendios forestales naturales así como en la descomposición de materia orgánica en exceso de oxígeno y en los procesos respiratorios.

El dióxido de carbono que se encuentra en mayor porcentaje de los gases que causan el efecto invernadero inducidos por el hombre (Tabla 1) y aunque tiene menor potencial de calentamiento que otros gases, debido a las elevadas concentraciones tiene mayor incidencia en el efecto invernadero (Tabla 2).

Tabla 1. Emisiones antropogénicas

Emisión	Causa	Porcentaje
CO <sub>2</sub>	Combustibles fósiles	75%
	Deforestación	20%
	Quema de madera (países en desarrollo)	5%
CH <sub>4</sub>	Combustibles fósiles	27%
	Ganado	23%
	Cultivo de arroz	17%,
	Residuos (basuras, alcantarillado)	16%
	Quema de biomasa	11%
	Excrementos animales	6%
CFCs	Propelentes de aerosoles, refrigerantes, aislamiento, limpieza	
N <sub>2</sub> O	Cultivos (incl. fertilización)	23-48%
N <sub>2</sub> O	Industria química	15-38%
	Combustibles fósiles	17-23%
	Quema de biomasa	15-19%
O <sub>3</sub>	Indirectamente vía precursores como óxidos de nitrógeno	

Fuente: Schönwiese, 2003

Tabla 2. Potencial de calentamiento global a 100 años

Unidad de referencia de CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub> (metano)	23
N <sub>2</sub> O (óxido nitroso)	296
SF <sub>6</sub> (hexafluoruro de azufre)	22,200
HFCs (hidrocarburos parcialmente halogenados)	Más de 14,000
Hidrocarburos halogenados	Más de 11,900

Fuente: IPCC 2000

### 1.1.2 Carbono orgánico en el suelo

El carbono cumple un papel fundamental en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono. Los procesos de captura y emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono: vegetación aérea y radical, materia en descomposición, suelos y productos forestales, estando interrelacionados estrechamente, con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes.

El carbono orgánico es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico generalmente al humus en el caso de los suelos. (Rudolph, 2002). En este ciclo, el carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima en cerca de 1 500 Pg C a 1 m de profundidad (Pg = 10<sup>15</sup> g = Gt = 109 toneladas métricas).

El carbono inorgánico representa cerca de 1 700 Pg pero es capturado en formas más estables, tales como el carbonato de calcio. La vegetación y la atmósfera almacenan considerablemente menos cantidades que los suelos. Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO<sub>2</sub>. (Robert, 2002)

El secuestro de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la

respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo (ibíd.). Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra. (López Ritas, 1990).

En el suelo, el carbono está almacenado como parte de la materia orgánica y representa más de 1400 Gt, casi el doble del que hay en la atmósfera. De acuerdo al IPCC el suelo necesita ser medido en el sitio del proyecto hasta una profundidad de 30 cm, ya que el cambio de uso de la tierra tiene un mayor efecto en los estratos superiores.

En informes de la (FAO 2002), se han analizado la distribución del total de las existencias de carbono del suelo según las principales zonas ecológicas. Las zonas muestran grandes diferencias en el almacenamiento del carbono orgánico sobre todo en relación a la temperatura y a la lluvia. Las existencias de carbono en el suelo hasta un metro de profundidad varían entre 4 kg/m<sup>2</sup> en las zonas áridas y 21-24 kg/m<sup>2</sup> en las regiones polares o boreales, con valores intermedios de 8 a 10 kg/m<sup>2</sup> en las zonas tropicales.

El cambio de uso de la tierra es el principal responsable de las emisiones de GEI, el 70% del total emitido es de CO<sub>2</sub>. La principal fuente de estas emisiones es la deforestación y la quema del bosque deforestado prácticamente común en la expansión de la frontera agrícola.

La deforestación de muchas áreas tropicales produce emisiones de carbono, al mismo tiempo se produce una acumulación en los ecosistemas terrestres. Esto representa lo que es conocido como el carbono faltante en el ciclo: un sumidero que podría estar situado principalmente del hemisferio norte. (FAO 2002)

### 1.1.3. La agricultura fuente y sumidero de carbono

En opinión de los expertos, la agricultura es una de las más importantes fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> y metano, constituye el 70% del total nacional, el

cultivo de arroz y la quema de pastos representan el 14% y el 15% respectivamente y la quema de residuos agrícolas es la principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>. (Cárdenas, 1992). En el contexto del combate del calentamiento global y el protocolo de Kyoto, un punto importante es cómo crear en los suelos agrícolas de todo el mundo un sumidero de carbono cuantificado. Tal captura de carbono será relevante para los artículos 3.3 y 3.4 del protocolo y también tendrá efectos positivos adicionales para la agricultura, el ambiente y la biodiversidad.

La evidencia sobre el efecto de los gases invernadero en el cambio climático ha sido usada para estimar los impactos de este en la agricultura. Un resumen de las conclusiones relacionadas con las actividades agropecuarias de diversos trabajos lo presenta. (Novoa, 2000).

- 1.- Los países en desarrollo sufrirían impactos potencialmente mayores
- 2.- La adaptación de los agricultores al cambio climático puede reducir los costos asociados, ya que hay disponibilidad de nuevas prácticas de cultivo posibles de ser adoptadas.
- 4.- Dado que el sector agrícola participa en una pequeña parte de la economía, en especial en países desarrollados, los impactos de la acumulación de gases con efecto invernadero en la agricultura serán pequeños, medidos en relación a la actividad económica general
- 5.- El beneficio económico del aumento de CO<sub>2</sub>, que aumenta la producción agrícola por aumento de la fotosíntesis, puede ser importante en balancear otros costos. Pero este beneficio debe ser bien evaluado, en relación a otros, para no sobreestimarlos.
- 6.- Las innovaciones inducidas en respuesta al cambio de condiciones climáticas puede, potencialmente, mitigar los efectos adversos en la agricultura.
- 7.- Como los cambios previstos son desfavorables a la agricultura en algunas regiones, por mayores temperaturas y disminución de las lluvias en zonas áridas, por ejemplo, o favorables por aumento de temperaturas en zonas frías

con suficiente agua, se piensa que al nivel de la tierra en su conjunto el impacto será poco o nulo, pero al nivel local puede ser grande.

## 1. 2.-Casos de estudio

---

En América Latina se han realizado algunos trabajos acerca del almacenamiento de carbono en el suelo y en la biomasa arbórea en los sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos.

En los estudios que se llevaron a cabo en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, se estudiaron tres paisajes diferentes en los que se midió el carbono orgánico en el Suelo (COS) y la biomasa arbórea. Los usos de la tierra evaluados fueron pasturas degradadas, pasturas naturales y mejoradas con y sin árboles, bancos forrajeros, plantaciones forestales, bosques riparios y bosques secundarios. Para determinar el COS se tomaron muestras de suelo y se determinó el C orgánico (%) y la densidad aparente mediante análisis de laboratorio. (Ibrahim, 2007)

En estos trabajos se explica que existen una serie de factores que influyen en la captura de CO<sub>2</sub>, entre ellos, las entradas y salidas de materia orgánica del sistema y el manejo de los usos de la tierra, las condiciones físicas y biológicas del suelo. La historia de las entradas de material orgánico a los suelos pueden determinar las tasas de cambio de carbono orgánico bajo el suelo cuando la vegetación y las prácticas de manejo han cambiado, tal como en la eliminación de bosque para establecer pasturas, se puede ganar o perder carbono del suelo dependiendo de las circunstancias específicas, como el uso de fertilizantes o la eliminación de la cobertura vegetal.

En los tres países las pasturas degradadas fueron el uso de la tierra que menos C total almacenó. Los resultados muestran que en cada uno de los paisajes ganaderos analizados las pasturas degradadas no están aportando significativamente al secuestro de carbono, mientras que las pasturas

mejoradas con árboles y los sistemas silvopastoriles son usos de la tierra con mayores potenciales.

En el mundo, el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) se ha obtenido a partir de datos de perfiles de suelo que provienen de mapas edafológicos; estos resultados se generalizan con la aplicación de sistemas de información geográficos (SIG) para estimaciones regionales y nacionales.

Particularmente en México la cartografía de suelos carece de datos analíticos y, si existen, corresponden al centro de país, de tal forma que la utilización de estos mapas es limitada. Los objetivos de este estudio fueron determinar el contenido de COS en el horizonte superficial de los suelos del país y establecer sus aportes por entidad federativa, región ecológica, uso del suelo y por áreas según su influencia humana. Para seleccionar sitios potenciales de muestreo, se utilizó una cuadrícula de 5 km x 5 km sobrepuesta a mapas espaciales, escala 1:250 000, se recolectaron un total de 4583 muestras de suelo del horizonte superficial (0 a 20 cm) y, en cada sitio, se registraron el uso del suelo y la influencia humana. A cada muestra se le determinó su contenido de COS y sus resultados se emplearon para la generación de un mapa con formato "raster", por interpolación, al cual se le sobrepusieron las capas con información de límites estatales, uso del suelo e influencia humana, mediante sistemas de información geográfica (SIG). El resultado final muestra que la capa superficial de los suelos de la República Mexicana tiene un contenido total de 10.5 Pg C y que el contenido más alto se relaciona con selvas húmedas y secas. (Segura Castruita, 2005).

El caso de captura de carbono en Chile, indica que la unión de los esfuerzos de la (Universidad Austral de Chile 2001), realizaron una investigación con el objeto de insertar a Chile en el mercado mundial de permisos de emisiones de carbono, promocionando la oferta de captura de carbono en bosques tanto naturales como artificiales, dentro del marco propuesto en los mecanismos de desarrollo limpio definidos en el protocolo de Kioto de la convención marco sobre cambio climático

De acuerdo con la (Universidad Austral de Chile 2001) se asume el tratado mundial para hacer frente al problema del cambio climático, el que fue adoptado el 9 de mayo de 1992 por las Naciones Unidas como Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC); (United Nations Framework Convention on Climate Change; FCCC). Este tratado estableció compromisos y acciones para mitigar y enfrentar el cambio climático del planeta, en Chile este mandato es ley de la república desde el 13 de Abril de 1995.

El estudio sobre los gases de efecto invernadero emitidos por la actividad agropecuaria chilena, parte de considerar que, el efecto invernadero no solo se debe al efecto en las temperaturas sino también al efecto en las alteraciones de las precipitaciones y evaporaciones asociadas, lo que indudablemente producirá cambios en la distribución geográfica de los cultivos y en los niveles de los mares.

Valores recientes dados por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1994) indican incrementos de temperatura cercanas a 1,5 °C, desde la actualidad al año 206 (Novoa, 2000).

Se considera que la agricultura, al nivel mundial, es responsable de solo 20% de las emisiones antropogénicas de gases con efecto invernadero, pero la importancia relativa de sus emisiones de metano y óxidos de N es más alta que la de otras fuentes. (ibíd)

Así, desde el punto de vista de la agricultura, las emisiones de CO<sub>2</sub> no son un problema, ya que se estima que para períodos de un año las emisiones se compensan con las captaciones. Sin embargo hay estimaciones, según las cuales, del aumento total de la radiación anual forzada por efecto del CO<sub>2</sub>, el proveniente de la agricultura solo sería responsable de un 4 % de ese aumento y el resto proviene de los cambios de uso del suelo (12%) y de otras fuentes (54 %), principalmente el sector energético.

El caso del metano y de los óxidos de N la es diferente ya que producen emisiones netas. La situación del metano es la siguiente: la concentración de metano ha aumentado de 0,8 partes por millón en volumen (ppmv) en 1850 m a

1,7 ppmv en la actualidad. Pero, su tasa de incremento a disminuido desde 1970 en adelante desde 20 partes por miles de millones en volumen por año, a la mitad en 1992 . No se sabe el porqué de este descenso. (Novoa, 2000)

En cuanto a los óxidos de N, su contenido actual es de aproximadamente 0,3 ppmv, y está aumentando a tasas de un 0,2 - 0,3 % al año.

Una estimación preliminar de las emisiones de estos gases para el caso de la agricultura chilena mostró que el metano era el principal gas emitido, con 273.361 Gg año<sup>-1</sup>, seguido del CO con 92.503 Gg año<sup>-1</sup>, y por los óxidos de N con 3.974 Gg año<sup>-1</sup> .Estos mismos autores, al incluir el sector forestal, calcularon que el gas más emitido es el CO<sub>2</sub> con 573,5 Gg año<sup>-1</sup>, el CO aumentaba a 186 Gg año<sup>-1</sup> y el metano a 285 Gg año<sup>-1</sup>. (ibíd.)

Las aportaciones metodológicas precisan que el estudio la captura de carbono tienen su base en la medición de la productividad a través del muestreo de biomasa, con base en ello se determina el carbono orgánico que contiene una planta para establecer el cálculo del dióxido de carbono capturado por la planta a través del proceso de fotosíntesis (Lieth & Whittaker, 1975), lo cual se traduce en que la captura o secuestro de carbono, que hace referencia al almacenaje de carbono en un estado sólido (Burras *et al.*, 2001).

Este fenómeno cobra importancia en tanto el proceso de secuestro de carbono por parte de los ecosistemas a través de la fotosíntesis- sean estos “naturales” o agro ecosistemas, puede representar una alternativa para la captura de CO<sub>2</sub>, generada por el excesivo uso de combustibles fósiles principalmente y en parte, causante del cambio climático (Sierra Cárdenas, 2010)

Respecto a métodos para la estimación del contenido de carbono en las diferentes especies de plantas, se encuentra que, por ejemplo esta se puede hallar a través de la medición en análisis de laboratorio de muestras de biomasa; la medición de flujos de dióxido de carbono y finalmente, el peso de biomasa en las cosechas para las actividades forestales y agrícolas apoyado en los métodos de cálculos de ecuaciones de captura de carbono por especie,

con base en los análisis de laboratorio mencionados anteriormente (Sierra Cárdenas, 2010)

Desde la agricultura, los estudios referentes a la captura de carbono surgen como un campo en la investigación acerca de la función que los sistemas agrícolas pueden cumplir frente al cambio climático (ibid)

(Sierra Cárdenas, 2010) menciona antecedentes de proyectos de captura de carbono en el contexto de la agricultura, asociados al programa 1605(b) relacionado con investigaciones sobre gases de efecto invernadero, que tuvo inicio en el año 1995. No obstante, el mismo autor aclara que, a pesar de las supuestas ventajas que en sí puede ofrecer la alternativa de los sistemas agrícolas frente a la captura de carbono, también existen diferentes inconvenientes, no sólo acerca del grado de incertidumbre de dichas actividades, dadas las condiciones en las que se desarrollan, sino de los sesgos de los métodos utilizados y las bases históricas, frente a que, si esta captura puede tener algún impacto, para lo cual es necesaria la investigación profunda en el tema; además de la existencia de sesgos humanos, dados los intereses que pueden existir respecto al cómo estas investigaciones apuntan al comercio de bonos de captura de carbono.

La captura de carbono a través del cultivo de caña panelera es un ejemplo. Esta planta tiene un potencial como prestadora del servicio ambiental asociado a la capacidad de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, dada la facultad que tiene la especie *Saccharum officinarum* para a la captura de carbono. El estudio identificó la relación de la captura de carbono con otros factores ambientales para el cultivo de caña panelera en Cundinamarca y la Hoya del Río Suárez, la metodología principal se remite al análisis estadístico de los datos a través de los métodos de análisis multivariado. Los resultados apuntan a que la captura de carbono por unidad de área es mayor en el departamento de Santander (57,3 Ton/ha), seguido por Boyacá (52,1 Ton/ha) y en último lugar se encuentra Cundinamarca (18,2 Ton/ha); dicha captura, de acuerdo con los análisis se relaciona de forma directa e indirecta con diversos factores que hacen parte de

las variables climática, de manejo y de calidad del suelo. (Sierra Cárdenas, 2010).

La experiencia del Instituto Rodale de Pennsylvania, Estados Unidos (1985), desde hace más de 50 años, ha realizado investigaciones sobre agricultura orgánica.

Datos acerca del carbono en el suelo de casi 30 años muestran que la mejor forma de cuidar el planeta, es la incorporación de prácticas agrícolas de regeneración orgánica, esta es estrategia más efectiva para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados de esta experiencia en los años noventa, reportaron que el Compost Utilization Trial (Ensayo sobre la utilización del compost), en el Instituto Rodale realizó un estudio de 10 años que compara el uso de compost, estiércol y fertilizantes químicos sintéticos, para demostrar que el uso de compost y rotaciones de cultivos en sistemas orgánicos puede dar como resultado la captura de hasta 2 mil libras de carbono/acre/año. Por el contrario, los campos con labranzas normales que dependen de los fertilizantes químicos, pierden casi 300 libras de carbono/acre/año. Almacenar hasta 2 mil libras/ acre/año significa que más de 7 mil libras de dióxido de carbono se extraen del aire y se retienen en ese suelo. (LaSalle J, 2008)

Se calcula que en 2006, las emisiones de dióxido de carbono de Estados Unidos fueron cercanas a los 6 500 millones de toneladas. Si se lograra capturar 7 mil libras de CO<sub>2</sub>/acre/año en los 434 millones de acres cultivados de los Estados Unidos, cerca de 1 600 millones de toneladas de dióxido de carbono podrían capturarse cada año, mitigando casi una cuarta parte del total de emisiones por combustibles fósiles de Estados Unidos.

Los estudios de (LaSalle J, 2008) sostienen que la captura de carbono mediante la agricultura tiene la capacidad potencial de mitigar sustancialmente los impactos del calentamiento global. Cuando se utilizan prácticas regenerativas de base biológica, este beneficio puede lograrse sin una disminución de los rendimientos o de los márgenes de ganancia. Aunque el clima y los tipos de suelo afectan la capacidad de capturar carbono, diversas investigaciones comprueban que la agricultura orgánica, si se practicara en los

3 500 millones de acres arables del planeta, podría capturar cerca del 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> actuales.

Por otra parte, la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. En este trabajo se afirma que los sistemas de vegetación (naturales, forestales inducidos y agrícolas) tienen capacidad de capturar carbono. Sin embargo, el C que se captura y almacena en la parte subterránea de los ecosistemas terrestres no ha sido considerado como un mecanismo de secuestro por los diseñadores de las políticas sobre cambio climático, a diferencia de la parte aérea. Sin embargo, casi 75 % del C de los ecosistemas se encuentra en el suelo, como biomasa de raíces o en formas estables, como compuestos geoquímicos. (Acosta, M. et al, 2001)

Aunque la estimación del carbono almacenado en el suelo no es fácil de cuantificar, ésta es necesaria para entender mejor la distribución y la importancia relativa de los almacenes aéreos y subterráneos de C en los ecosistemas terrestres. El objetivo del trabajo fue someter a prueba rutinas confiables de campo y laboratorio diseñadas *ex profeso*, para medir C en la parte subterránea de los eco- y agro ecosistemas de laderas pronunciada (25 a 60 % de pendiente). Se seleccionaron 26 sistemas de vegetación natural y agrícola, en las regiones Mazateca, Cuicalteca y Mixe del estado de Oaxaca, México, que representan a aproximadamente 1 x 10<sup>6</sup> ha. En ellos se midió el C acumulado en la parte aérea y subterránea. Se reportan aspectos metodológicos y algunos resultados del C en el componente subterráneo. Los sistemas seleccionados tenían especies de ciclo anual, mixtos (frutales + anuales), agrícolas en descanso o *acahuales* y cultivos permanentes como praderas, café y árboles.

La biomasa de raíces y C del suelo se determinó en muestras colectadas en relojes de 1 m de diámetro (12 horas; 12 norte magnético) en suficientes sitios por parcela, para estimar la variabilidad espacial del C acumulado. El muestreo de la parte subterránea (0 a 105 cm; incrementos de 15 cm), en dos puntos de cada reloj (12 y 6 horas) se hizo con barrena (4.77 cm de diámetro 19 cm de

largo), para estimar simultáneamente la densidad aparente del suelo. Los puntos se marcaron magnéticamente y georeferenciaron. Las raíces, piedras y fragmentos vegetales visibles de las muestras fueron separados y pesados, después de haberlas secado al aire, para estimar la masa, el volumen y la densidad aparente del suelo. Una submuestra de éste (ca. 5 g) se secó a 105°C para determinar el contenido de humedad residual, se pulverizó en molino de ágata y se analizó para C orgánico en un aparato automatizado, de acuerdo a protocolos estandarizados.

### 1. 3.- Enfoques de investigación

---

Para abordar el tema de investigación se requiere de elementos básicos para su comprensión, éstos están dados por las ópticas o enfoques generales en los que se inserta. En este trabajo se consideran dos enfoques principales: Enfoque de las ciencias ambientales y el enfoque sistémico.

#### 1.3.1.- Enfoque de las ciencias ambientales

---

El enfoque transdisciplinar de las ciencias ambientales permite identificar, analizar y resolver problemas ambientales como es el caso de las emisiones de dióxido de carbono; estos es posible mediante la implementación de instrumentos, técnicas, equipos, además de utilizar y adaptar diferentes metodologías que permitan combinar dos o más disciplinas que permitan dar las soluciones o alternativas a la problemática ambiental que se estudia.

#### 1.3.2.- Enfoque sistémico

---

En este enfoque se parte de la de la noción de sistema. Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí, de forma tal que un cambio en un elemento afecta al conjunto de todos ellos, que relacionados directa o indirectamente formarán el sistema que vamos a estudiar, en este caso el sistema agropecuario. (Chiavenato, 1992)

De acuerdo con (Bertalanffy, 1976) la teoría general de los sistemas, se basa en una búsqueda sistemática de la ley y el orden en el universo; a diferencia

de otros planteamientos, tiende a ampliar su búsqueda, convirtiéndola en una búsqueda de un orden de órdenes, de una ley de leyes. Este es el motivo por el cual se le ha denominado la teoría general de sistemas.

Las características de los sistemas según (Schoderber 1994) son las siguientes: Interrelación e interdependencia de objetos, atributos, acontecimientos y otros aspectos similares. Al abordar un sistema deben tenerse en cuenta los elementos del sistema, la interrelación existente entre los mismos y la interdependencia de los componentes del sistema. Los elementos no relacionados e independientes no pueden constituir nunca un sistema.

El enfoque de los sistemas no es un enfoque analítico, en el cual el todo se descompone en sus partes constituyentes para luego estudiar en forma aislada cada uno de los elementos descompuestos. Se trata de un tipo gestáltico de enfoque, que trata de encarar el todo con todas sus partes interrelacionadas e interdependientes en interacción, es decir la totalidad.

Todos los sistemas incluyen componentes que interactúan, y la interacción hace que se alcance alguna meta, un estado final o una posición de equilibrio, es en síntesis la búsqueda de objetivos.

Todos los sistemas dependen de algunos insumos para generar las actividades que finalmente originaran el logro de una meta. Todos los sistemas originan algunos productos que otros sistemas necesitan.

Todos los sistemas son transformadores de entradas en salidas. Lo que recibe el sistema es modificado por éste de tal modo que la forma de la salida difiere de la forma de entrada.

La entropía está relacionada con la tendencia natural de los objetos a caer en un estado de desorden.

Si los sistemas son conjuntos de componentes interrelacionados e interdependientes en interacción, los componentes interactuantes deben ser

regulados (manejados) de alguna manera para que los objetivos (las metas) del sistema finalmente se realicen.

Generalmente todos los sistemas son complejos, integrados por subsistemas más pequeños, tienen orden y jerarquía.

En los sistemas complejos las unidades especializadas desempeñan funciones especializadas. Esta diferenciación de las funciones por componentes es una característica de todos los sistemas y permite al sistema focal adaptarse a su ambiente, este es el principio de la diferenciación.

La equifinalidad es una característica de los sistemas abiertos, los resultados finales se pueden lograr con diferentes condiciones iniciales y de maneras diferentes. Para las organizaciones complejas implica la existencia de una diversidad de entradas que se pueden utilizar y la posibilidad de transformar las mismas de diversas maneras. (Bertalanffy, 1976)

El enfoque de sistemas, es una forma ordenada de evaluar una necesidad humana de índole compleja y consiste en observar la situación desde todos los ángulos y determinar los elementos distinguidos en el problema, la relación de causa y efecto que existe entre ellos, las funciones específicas que cumplen en cada caso y los intercambios que se requerirán entre los recursos una vez que se definan.

Este enfoque concibe la organización como un sistema unido y dirigido de partes interrelacionadas que tienen un propósito y está compuesto por partes que se interaccionan. Plantea que la actividad de un segmento de la organización afecta en diferentes grados la actividad de todos sus segmentos. Uno de sus supuestos básicos del enfoque de sistemas es que las organizaciones no son autosuficientes, por que intercambian recursos con el ambiente externo definido éste como, todos los elementos extraños a la organización que son relevantes para sus operaciones.

Por ejemplo, el enfoque de sistemas aplicado al caso de estudio, es útil para comprender una ladera como parte constitutiva de un sistema morfológico o fisiográfico. Una ladera es la porción inclinada de la superficie terrestre que delimita formas positivas y negativas. Por su aspecto las laderas pueden ser a) Rectas: verticales, a desplome e inclinadas, respecto a un plano horizontal, ambas con una clara expresión en su base; b) Cóncavas: la parte superior empinada y la inferior suave, con una base con débil expresión; c) Convexas: la parte superior suave incrementándose la pendiente hacia abajo; d) Escalonada en su perfil se presentan varias rupturas de pendiente que forman numerosos escalones; e) Compuestas combinaciones de las anteriores.

La forma de la ladera depende del estado de desarrollo del relieve, la estructura de las capas, las condiciones climáticas, la vegetación, exposición de las laderas al sol y a los vientos dominantes. (UAM, 1989)

La producción agrícola en ladera o en pendientes pronunciadas se asocia a la degradación ambiental, ocasionada principalmente por la deforestación y consecuente la degradación de suelos. Sin embargo, no está del todo clara la relación directa entre estos pequeños agricultores y la degradación del ambiente, pues otras actividades en el medio rural tales como la pequeña minería, producción de carbón por trabajadores migrantes, explotación del bosque por compañías foráneas y habilitación posterior de terrenos para ganadería extensiva, deslizamientos naturales y, particularmente, mal diseño de obras de infraestructura, son también causantes de la degradación ambiental.

En la perspectiva ecológica, lo que se conoce genéricamente como laderas es un ambiente de muy alta diversidad. Solo un estudio preliminar relativamente reciente, llegó a determinar 17 ambientes agroecológicos (Carter, 1991). La influencia de los dos océanos y la topografía accidentada contribuyen con esta alta diversidad climática y micro-climática. Por ejemplo, Centroamérica entre dos grandes regiones geográficas es el punto de encuentro entre los biomas del norte y del sur, y esto junto a su micro variabilidad ambiental, se unen para constituir una de las zonas del mundo en donde ocurre la mayor biodiversidad.

Además, se ha estimado que más del 50% de la masa boscosa de Centroamérica está en las laderas. Los datos de deforestación en América Central son altamente variables, dependiendo de quién los interprete, pero independientemente de las cifras este fenómeno es bastante serio en la región. (Cuello. et. al, 1995).

Las laderas son entonces el punto de encuentro entre una agricultura con serios problemas de sustentabilidad, manejada por el sector más pobre del medio rural centroamericano, una gran biodiversidad ecológica, posiblemente entre las mayores del mundo y los restos de una masa boscosa en vías de desaparecer (Lindarte, 1991).

Por otra parte se encuentra la actividad ganadera que se practica en las laderas, esto es importante, ya que el ganado vacuno no es habitante natural de este tipo de terrenos en zonas montañosas. Su gran peso, sus patas y pezuñas son adaptaciones naturales a la vida en terrenos planos, en los cuales el animal pisa por cualquier sitio y raras veces pisa con frecuencia el mismo lugar, permitiendo que su alimento siempre pueda producirse en grandes cantidades debido a que, en densidades poblacionales óptimas, el suelo no pierde sus facultades productivas con la pisada del ganado en ningún lugar del área de pastoreo.

En las laderas y la inclinación natural del terreno hace que el ganado al caminar vaya rompiendo y aplanando el suelo con sus pisadas y vaya creando una indefinida cantidad de caminos paralelos y escalonados, que el animal utiliza para desplazarse y poder pastar. Se produce entonces una erosión fuerte, escalonada, con pasos estrechos, claros y definidos que han sido aplanados por el efecto de la pisada lacerante de las pezuñas y el gran peso del animal (Hall, 2001).

En esta degradación del suelos es evidente que el material faltante en cada escalón tuvo dos destinos; en primer lugar una parte del material terroso queda compactado en el sitio inutilizándolo permanentemente como suelo

productor y la otra parte del material cae cerrado abajo por erosión laminar y escorrentía.

El tránsito constante del ganado por determinadas zonas crea sendero que provocan la erosión y pérdida de superficie productiva de pastizal como se ve en la figura 1. Estos pasos definidos por la pisada del ganado en las laderas de los cerros, se entretajan e intercalan con angostas franjas gramíneas de las cuales se alimenta.

Figura 1. Degradación del suelo por pastoreo



Fuente: <http://guaquira.comlu.com>

El acceso a las diferentes zonas de agostadero provoca que los caminos, estén muy cercanos y entrelazados unos a otros, produciéndose un tejido de angostos senderos, visible desde largas distancias y cuyo efecto erosivo de gran intensidad es denominado sobre-pastoreo.

Por lo tanto existe una pérdida definitiva y permanente de la posibilidad de que crezca pasto en la huella de las frecuentes pisadas, lo cual es evidente con el tiempo y persiste aún después de muchos años de haber retirado el ganado, y con altas probabilidades de convertirse en un efecto crónico.

De este modo, por cada hectárea de ladera, puede llegar a perderse en forma permanente otra media hectárea de superficie ocupada tan sólo por el constante paso del ganado vacuno. En contraste con la degradación que se

presenta en las laderas nada de esto ocurriría con tanta intensidad en terrenos planos.

Además que la tala, la quema, el pastoreo en laderas, la introducción de pasto exótico y los cultivos errados favorecen a pocos y perjudican a todos los demás y principalmente a la dinámica y equilibrio de la vegetación y del suelo que es parte fundamental para que se realice el secuestro del carbono.

#### 1.4.- Variables de la investigación

---

Las variables principales de la investigación son: El suelo, la materia orgánica, los factores de degradación de la materia orgánica y los sistemas productivos.

##### 1.4.1.-Suelo

---

Los suelos son sistemas naturales abiertos y complejos, con una gran diversidad de seres vivos y cuyas características y propiedades se desarrollan por la acción de los agentes climáticos y bióticos actuando sobre los materiales geológicos, acondicionados por el relieve y el drenaje durante un período de tiempo (UNC, 2008). El suelo es una entidad que evoluciona en un flujo de materiales geológicos, biológicos, hídricos y meteorológicos.

Los componentes del suelo se pueden clasificar en inorgánicos, como la arena, la arcilla, el agua y el aire; y orgánicos, como los restos de plantas y animales. Uno de los componentes orgánicos de los suelos es el humus, de acuerdo con (Galdames Ortíz, 2000) se encuentra en las capas superiores de los suelos y constituye el producto final de la descomposición de los restos de plantas y animales, junto con algunos minerales; tiene un color de amarillento a negro, y confiere un alto grado de fertilidad a los suelos.

- Fase Sólida: Comprende, principalmente, los minerales formados por compuestos relacionado con la litósfera, como sílice o arena, arcilla o greda y cal. También incluye el humus.

- Fase Líquida: Comprende el agua de la hidrósfera que se filtra entre las partículas del suelo.
- Fase Gaseosa: Tiene una composición similar a la del aire que respiramos, aunque con mayor proporción de dióxido de carbono. Cuando el suelo es muy húmedo, los espacios de aire disminuyen, al llenarse de agua.

Los cuerpos de los suelos y sus correspondientes horizontes individuales juegan papeles diferentes debido a la distribución desigual de materiales. Existe un intercambio de material entre cuerpos de suelos, no sólo a través del viento, si no por acción del agua y los organismos. Un suelo tiene un presupuesto de entradas y salida con procesos complejos y perpetuamente dinámicos que incluyen:

- Intercambio entre el suelo y el medio de materiales tales como el oxígeno, agua y dióxido de carbono, e intercambio de materiales dentro del suelo, como el intercambio de gases.
- Respuestas de control automático como; la expansión y contracción de las masas de arcilla en un suelo que se agrieta.
- Producción y consumo de nuevos materiales orgánicos y minerales. El sistema suelo produce e introduce en el ciclo nuevas formas de materiales orgánicos y minerales, en tanto que esa materia está siendo eliminada del sistema hacia el medio y el sustrato.

Hay que destacar que el suelo es parte de una comunidad simbiótica en la que los seres humanos, las plantas y los animales se proveen de sus necesidades mutuas.

#### 1.4.2.- Materia orgánica

---

Los factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica son la vegetación y el ingreso de residuos, composición de las plantas, los factores climáticos, condiciones de temperatura y humedad y las propiedades del suelo textura, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez. (Robert, 2002)

La materia orgánica que contiene el suelo procede tanto de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene: lombrices, insectos de todo tipo, microorganismos, etc.

La descomposición de estos restos y residuos metabólicos da origen a lo que se denomina humus. En la composición del humus se encuentra un complejo de macromoléculas en estado coloidal constituido por proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc., en constante estado de degradación y síntesis.

El humus, por tanto, abarca un conjunto de sustancias de origen muy diverso, que desarrollan un papel de importancia capital en la fertilidad, conservación y presencia de vida en los suelos. A su vez, la descomposición del humus en mayor o menor grado, produce una serie de productos coloidales que, en unión con los minerales arcillosos, originan los complejos órgano minerales, cuya aglutinación determina la textura y estructura de un suelo. Estos coloides existentes en el suelo presentan además carga negativa, hecho que les permite absorber cationes  $H^+$  y cationes metálicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) e intercambiarlos en todo momento de forma reversible; debido a este hecho, los coloides también reciben el nombre de complejo absorbente

La materia orgánica en los suelos juegan un papel de importante en el suelo y en el funcionamiento de los ecosistemas además interviene en forma activa en la formación del suelo, condiciona su comportamiento en relación al crecimiento de las plantas y microorganismos, al influir en el movimiento y

almacenamiento de agua, intercambio catiónico, y constituir una fuente de nutrientes.

La transformación que sufren los restos vegetales y animales en el suelo se realiza bajo la acción de distintos grupos de microorganismos así como de diversos representantes de la microfauna edáfica ácaros, insectos, lombrices, etc, éstas desintegraciones pueden ser también de manera mecánica, oxidaciones, hidrólisis, etc. constituye un proceso biológico básico en el que el carbono (C) es recirculado hacia la atmósfera como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el nitrógeno (N) es hecho disponible como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y otros elementos asociados (P,S, y varios micronutrientes) aparecen en la forma requerida por las plantas superiores.

En este proceso algo del C es asimilado dentro del tejido microbiano (la biomasa del suelo) y parte es convertido en Humus. Parte del humus nativo es mineralizado simultáneamente, en consecuencia el contenido total de materia orgánica es mantenido a un nivel estable característico del suelo y del manejo del sistema.

La tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo depende de la temperatura, la disponibilidad de oxígeno, el drenaje, el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y de los cultivos. En un tipo de suelo dado expuesto a prácticas constantes, se alcanza un casi equilibrio situación estable- de la materia orgánica del suelo después de 30 a 50 años. (Gupta et. al 1988)

El termino humus se utiliza en un sentido amplio, para indicar las sustancias orgánicas que resultan de los procesos de humificación. El humus incluye únicamente componentes orgánicos que han adquirido una forma relativamente estable ante la biodegradación.

Las sustancias húmicas se caracterizan por no presentar características físicas y químicas específicas como la composición elemental definida o un punto de fusión concreto por mencionar algunos. Estas sustancias son de color oscuro,

con carga negativa, de carácter ácido, predominantemente aromáticas, hidrófilas, químicas complejas, de un peso elevado molecular y son compuestos relativamente oxidados. Las sustancias no húmicas incluyen aquellos materiales orgánicos cuyas, características químicas resultan todavía identificables tales como los glúcidos, proteínas, péptidos, aminoácidos, etc. (Porta Casanellas, 1994).

No obstante que la revolución verde en diversas partes del mundo, partió del supuesto de que la fertilidad del suelo puede mantenerse y mejorarse con el uso de fertilizantes químicos. Se ignoró y menospreció la importancia de contar con materia orgánica del suelo.

En décadas la imposición de criterios técnicos industriales en la pequeña agricultura, debilitó los procesos que aseguran que los suelos obtengan nueva materia orgánica y que protegen la materia orgánica almacenada en el suelo de ser arrastrada por el agua o el viento. Con el paso del tiempo, conforme se agotan los niveles de materia orgánica, los efectos se han hecho más visibles con devastadoras consecuencias en algunas partes del mundo.

Se considera que en la era pre-industrial, el equilibrio entre aire y suelo era de una tonelada de carbono en el aire por unas 2 toneladas depositadas en el suelo. La relación actual ha bajado, aproximadamente, a 1.7 toneladas en el suelo por cada tonelada que presente en la atmósfera.

La materia orgánica del suelo se mide en porcentaje, 1% significa que por cada kilogramo de suelo, 10 gramos son materia orgánica. Según sea la profundidad del suelo, ello puede equivaler a una relación de entre 20 y 80 toneladas por hectárea.

La cantidad de materia orgánica necesaria para asegurar la fertilidad del suelo varía ampliamente según haya sido su proceso de formación, qué otros componentes posee, las condiciones climáticas locales, etcétera. Se puede decir que, en general, un 5% de materia orgánica en el suelo es, en la mayoría de los casos, un mínimo adecuado de suelo saludable, aunque para algunos

suelos las mejores condiciones para el cultivo se consiguen cuando el contenido de materia orgánica supera el 30%.

Según (LaSalle J, 2008) en una amplia gama de estudios, los suelos agrícolas en Europa y Estados Unidos han perdido, en promedio, de 1 a 2% de materia orgánica en los 20 a 50 centímetros superiores. Este dato puede ser una subestimación ya que casi siempre el punto de comparación es el nivel de materia orgánica de principios del siglo XX, cuando muchos suelos ya estaban sometidos a procesos de industrialización y por tanto podrían haber perdido, ya entonces, importantes cantidades de materia orgánica. Algunos suelos del medio oeste agrícola de Estados Unidos, que en los años cincuenta solían contener un 20% de carbono, en la actualidad, llegan apenas a 1 o 2%. Estudios de Chile, Argentina, Brasil, Sudáfrica y España reportan pérdidas de hasta 10%. Datos proporcionados por investigadores de la Universidad de Colorado indican que la pérdida promedio mundial de materia orgánica en las tierras de cultivo es de 7 puntos porcentuales.

#### 1.4.3.- Sistemas productivos

---

Una de las principales actividades que realizan los seres vivos para su sobrevivencia es la alimentación; para ello el ser humano se ha valido de la producción de sus alimentos mediante diferentes sistemas productivos agrícolas y ganaderos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Hall, 2001) los sistemas productivos son los siguientes.

##### 1.4.3.1.- Sistema agrícola

---

Los sistemas agrícolas se definen como conjuntos de explotaciones agrícolas individuales con recursos básicos, pautas empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares, a los cuales corresponderían estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas. Según el alcance del análisis, un sistema agrícola puede abarcar unas docenas o a muchos millones de familias. (FAO 2009)

De acuerdo con la FAO la clasificación de los sistemas agrícolas de las regiones en desarrollo se ha fundado en los siguientes criterios, estos son los recursos naturales básicos disponibles, y comprenden el agua, las tierras, las zonas de pastoreo y bosques; el clima, en el cual, la altura es un elemento determinante; el paisaje, que comprende la pendiente; la dimensión de la finca, el régimen y la organización de la tenencia de la tierra.

La pauta dominante de las actividades agrícolas y los medios de sustento de las familias, comprendidos en los cultivos, el ganado, los árboles, la acuicultura, la cacería y la recolección, la elaboración y las actividades externas a la finca agrícola; y también las principales tecnologías empleadas, que determinan la intensidad de la producción y la integración de los cultivos, el ganado y otras actividades.

Debido a su gran amplitud geográfica, diversidad topográfica y abundante biodiversidad, América Latina y el Caribe tienen una de las gamas más diversas y complejas de sistemas agrícolas de todas las regiones del mundo.

La primera gran división de los sistemas agrícolas, comprende la agricultura de riego y temporal.

Sistema Agrícola de Riego abarca enormes áreas de tierras áridas en el norte y centro de México y los valles costeros y del interior del Perú, Chile y Argentina occidental. La superficie total de casi 200 millones de hectáreas contiene sólo 7,5 millones de hectáreas de tierra cultivada, pero casi todos los de regadío. El método principal que se utiliza en estos sistemas es el riego por inundación o de surco. Otros sistemas emplean aspersores y riego de goteo. La presencia de la infraestructura de riego permite un grado relativamente alto de la intensificación de la producción en general, de orientación comercial además aporta a la población agrícola casi 11 millones de dólares. Los productos clave dentro de este sistema son el arroz, el algodón, la fruta, la horticultura, la viña el maíz. (FAO, 2001)

Agricultura extensiva o de temporal predomina en los países subdesarrollados, que utilizan limitados recursos técnicos y una mano de obra relativamente elevada, dado el bajo nivel de maquinaria agrícola utilizada se practica en un 83% de las tierras cultivadas y produce más del 60% de alimentos del mundo.

En las regiones tropicales con escasez de agua, la agricultura de temporal es practicada en más de 95% de las tierras cultivadas, pues en estas zonas el riego convencional de cultivos para la producción de alimentos resultaría muy costoso y apenas justificable en términos económicos.

El sistema agrícola de plantación costera y mixta cubre 186 millones de hectáreas. Hay 20 millones de hectáreas de tierra cultivada en regadío. El sistema ocupa algunas de las más ricas tierras agrícolas, pero también incluye manglares y áreas aisladas de bosque tropical. Hay dos principales subsistemas: a) las explotaciones familiares de pequeña escala con la agricultura mixta, en la costa la pesca y la frecuencia de empleo no agrícola por ejemplo, turismo, y (b) las plantaciones a gran escala, a menudo orientadas a la exportación y con una producción intensa y significativa de la pobreza entre los trabajadores. (FAO 2001)

Sistemas productivos de Maíz y frijoles (Mesoamérica) extiende desde el centro de México hacia el Canal de Panamá y con una población estimada agrícola de alrededor de 11 millones - incluyendo una importante población indígena este sistema cubre 65 millones de hectáreas y es histórica y cultural basada en la producción de maíz y frijol para su subsistencia. Aunque hay 2.4 millones de hectáreas de riego en el sistema (40 por ciento, la mayor concentración de riego fuera del sistema de la agricultura de regadío), la pérdida histórica de las tierras del valle mejor a los colonos no indígenas y las operaciones comerciales ha llevado a la pobreza generalizada y extrema y la degradación de la tierra grave en muchas áreas (FAO 2001).

Sistema productivo Mixto de tierras áridas debido a su ubicación cerca de la costa del noreste de Brasil y en la península de Yucatán en México, este gran

sistema de casi 130 millones de hectáreas tiene una estructura bien establecida económicamente y productivamente y una producción agrícola de unos 10 millones de dólares, pero se enfrenta a graves de humedad y el suelo limitaciones de calidad. A pesar de las frecuentes sequías, poco más de dos por ciento de los 18 millones de hectáreas de tierra cultivada es de regadío. La degradación del suelo es un problema grave. (FAO 2001)

#### 1.4.3.2.- Sistema de producción ganadera

---

Este sistema de producción va enfocado principalmente a la ganadería de bovinos se conforma por especies capaces de adaptarse a una gran variedad de condiciones ambientales lo que los hace, dentro de los mamíferos domésticos, una de las especies más utilizadas en los sistemas productivos. Debido a esta gran diversidad es que existe también una gran variedad de sistemas productivos adaptados además a diversas condiciones ambientales.

Los bovinos son animales que pueden ser explotados en más de un rubro y por lo tanto se pueden encontrar razas especializadas en diferentes producciones como lo son: carne y leche. La diversidad de razas hace que los sistemas y zonas productivas sean diferentes según el animal y por lo tanto que existan regiones donde sea más conveniente realizar un tipo de explotación que otra. (FAO 2009)

Los sistemas productivos utilizados para la obtención de carne, se basan principalmente en el uso de animales de doble propósito, de razas de carne y en menor medida en terneros eliminados por las lecherías, vacas de leche, bueyes, toros y otros. (ibíd.)

Los sistemas de producción de bovinos de leche, distinguen tres sistemas productivos en el continente americano: intensivo, semintensivo y pastoriles, y los sistemas Intensivos o confinamiento Absoluto: Las vacas permanecen en confinamiento absoluto desde su nacimiento hasta la venta, que en condiciones normales se realiza a una edad aproximada de 7 años. Requieren alimentación

de alto nivel nutritivo como forraje de buena calidad fresco o conservado y alimentos concentrados en la dieta. (ODEPA 2006.)

Bajo este sistema el productor casi no depende del crecimiento de las praderas para producir leche ya que posee otras alternativas de alimento y generalmente estas lecherías se encuentran en zonas de riego donde es posible tener praderas permanentes.

Los sistemas mixtos son altamente dependientes de la conservación del forraje por lo que presenta una baja estacionalidad. Ocasionalmente se usan praderas de riego. La estabulación es esporádica, no superando los seis meses, por lo cual sus niveles de inversión son más bajos en infraestructura. (ODEPA, 2006.)

El manejo es pastoreo directo en el período otoño, primavera, verano y en confinamiento en los meses de invierno desde iniciada la lactancia. La alimentación se basa en praderas, suplementadas con concentrados durante las épocas de pastoreo (otoño, primavera y verano) y en forraje conservado (heno y ensilaje) y concentrados durante el invierno. Este tipo de manejo está desplazando a las lecherías con sistemas de pastoreo absoluto, ya que sus producciones son menos estacionales y por lo tanto reciben mejor precio por litro de leche. (ONU 1992)

El sistema pastoril o extensivo, son aquellos de pariciones en épocas en que la pradera es abundante (FAO 2009). Los niveles de producción son más bajos que en los otros sistemas, la alimentación se basa ciento por ciento en la pradera, con una adecuada fertilización y un buen manejo del pastoreo, pudiéndose lograr producciones competitivas. (ONU 1992) (FAO 2009).

#### 1. 5.- Discusión de las aportaciones del capítulo

Los casos de estudio a diferentes escalas destacan la importancia de almacenamiento de carbono en el suelo y en la biomasa aérea en los sistemas ganaderos, y otros trabajos se enfocan en la evaluación del potencial de

mitigación de los cultivos en plantación y la agricultura orgánica. Destaca la evaluación en distintos usos de la tierra. Entre los factores que influyen en la captura de CO<sub>2</sub>, son: condiciones físicas y biológicas del suelo y el manejo de los usos de la tierra (uso de fertilizantes o la eliminación de la cobertura vegetal), las cuales ocasionan que se gane o pierda carbono, uno de los aportes importantes es la evidencia sobre la menor cantidad de carbono almacenado en tierras degradadas, en tanto que los sistemas con un manejo adecuado tienen mayor potencial de captura de carbono.

Los sistemas de vegetación (naturales, forestales inducidos y agrícolas) tienen capacidad de capturar carbono. Sin embargo, el C que se captura y almacena en la parte subterránea de los ecosistemas terrestres no ha sido considerado como un mecanismo de secuestro por los diseñadores de las políticas sobre cambio climático, a diferencia de la parte aérea.

La mejor forma es la incorporación de prácticas agrícolas de regeneración orgánica, ya que los campos con labranzas normales que dependen de los fertilizantes químicos, pierden grandes cantidades de carbono. La captura de carbono mediante la agricultura tiene la capacidad potencial de mitigar sustancialmente los impactos del calentamiento global. Cuando se utilizan prácticas regenerativas de base biológica, este beneficio puede lograrse sin una disminución de los rendimientos o de los márgenes de ganancia.

En los estudios resalta en los procedimientos la toma de muestras de suelo para determinar el % de carbono orgánico y la densidad aparente mediante análisis de laboratorio, otro procedimiento para estimar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) destaca los datos de perfiles de suelo y mapas edafológicos y la aplicación de sistemas de información geográficos (SIG) para estimaciones regionales y nacionales.

Es necesario entender mejor la distribución y la importancia relativa de los almacenes aéreos y subterráneos de carbono en los ecosistemas terrestres, a través de la medición de la productividad a través del muestreo de biomasa, la que puede ser analizada en el laboratorio, la medición de flujos de dióxido de carbono y el peso de biomasa en las cosechas para las actividades forestales y

agrícolas, apoyado en los métodos de cálculos de ecuaciones de captura de carbono por especie.

Las acciones incluye la oferta de captura de carbono en bosques naturales y artificiales, en el marco de los mecanismos de desarrollo limpio. El sector cambio de uso de suelo y actividades forestales, presenta dos grandes opciones; reducción de emisiones (manejo forestal) y captación de carbono a través de sumideros naturales (asociados a proyectos de forestación). Los proyectos de generación de energía por biomasa, se presentan como una interesante opción de mitigación, constituyendo una combinación de los sectores energía y CUSAF/LULUCF.

El enfoque de las ciencias ambientales y enfoque de los sistemas permite comprender la función del suelo como emisor y sumidero de carbono en el contexto de sistemas productivos y manejo particulares, estos elementos conforman un sistema complejo integrado por elementos que desempeñan funciones especializadas y diversas, y que se encuentran en entornos fisiográficos o topográficos que les plantean potencialidades y limitantes. Una vez que son superiores las limitantes se desarrollan en ambientes degradados.

Los estudios de los expertos demuestran que el incremento en la atmósfera de los llamados gases de invernadero (GI) y el consecuente cambio climático tendrá efectos importantes en el siglo XXI, por ello es esencial que se tomen medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa. Para ello, deben ser desarrolladas nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques, una opción es la captura de carbono en los suelos o en las biomásas terrestres, sobre todo en las tierras usadas para la agricultura o la forestación.

Desde la agricultura, la captura de carbono surge como un campo de estudio acerca de la función que los sistemas agrícolas pueden cumplir frente al cambio climático. En este horizonte, la estimación del carbono almacenado en el suelo es necesaria para entender mejor la distribución y la importancia

relativa de los almacenes aéreos y subterráneos de carbono en los ecosistemas terrestres

La agricultura tiene un gran potencial para capturar carbono, esta captura tendrá efectos positivos adicionales para la agricultura, el ambiente y la biodiversidad. Los factores que influyen en la captura de CO<sub>2</sub>: materia orgánica del sistema y el manejo de los usos de la tierra, se puede ganar o perder carbono del suelo dependiendo de las circunstancias específicas, como el uso de fertilizantes o la eliminación de la cobertura vegetal.

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición. En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo inestable y solo una pequeña fracción del que ingresa se acumula en la fracción húmica estable.

Este capítulo permitió formar las bases para comprender el proceso de estimación de la captura de carbono en el suelo y posteriormente utilizar estos conocimientos en el diseño de la metodología que se utilizó para obtener las muestras y para el análisis en el laboratorio.

## Capítulo 2 Caracterización de Zacazonapan

---

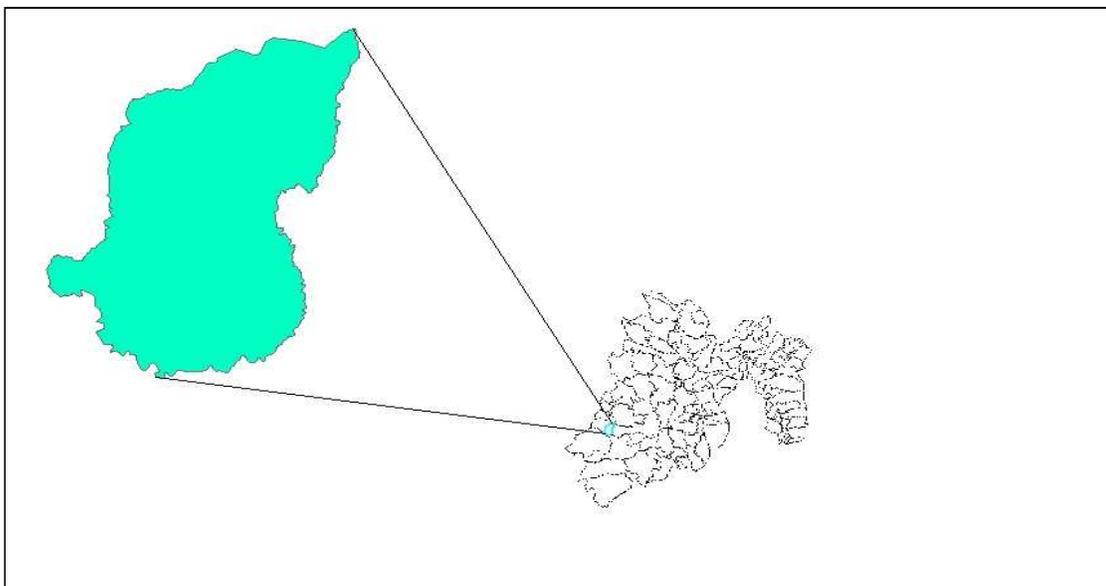
En este capítulo se realiza una caracterización general de la zona de estudio abarcando aspectos del medio físico, tales como la litología, las unidades edáficas, la hidrografía, el clima; así como algunas características de la flora y fauna del lugar. Se describen algunos datos estadísticos de la población, principalmente la población económicamente activa, la población ocupada y de las actividades económicas que se realizan en este municipio. Todo esto con el objetivo de relacionar los aspectos del medio físico, biótico y la población con el tema de la captura de carbono en el suelo; y tratar de entender cómo influyen estos factores sociales en el tema de estudio y en los resultados.

### 2.1.- Localización del área de estudio.

---

Como se aprecia en la figura 2, el municipio de Zacazonapan se ubica al suroeste del Estado de México entre las coordenadas  $19^{\circ}00' 17''$  y  $19^{\circ}16' 17''$  de latitud Norte y  $100^{\circ}12' 55''$  y  $100^{\circ}18' 13''$  de longitud Oeste. Este municipio tiene una altitud máxima de 2000msnmm y mínima de 940msnmm. La extensión es de 67.14 kilómetros lo que corresponde 0.30% de la superficie total del estado de México (Arroyo Pedraza, 1999).

Figura 2. Localización del municipio de Zacazonapan



Elaboración propia

El municipio colinda al este con Valle de Bravo y Temascaltepec, al sur con Tejupilco, en el suroeste con el municipio de Luvianos y por último al noroeste colinda con Otzoloapan (Figura 3).

Figura 3. Ubicación del municipio de Zacazonapan



Elaboración propia

## 2.2. Componentes físico naturales

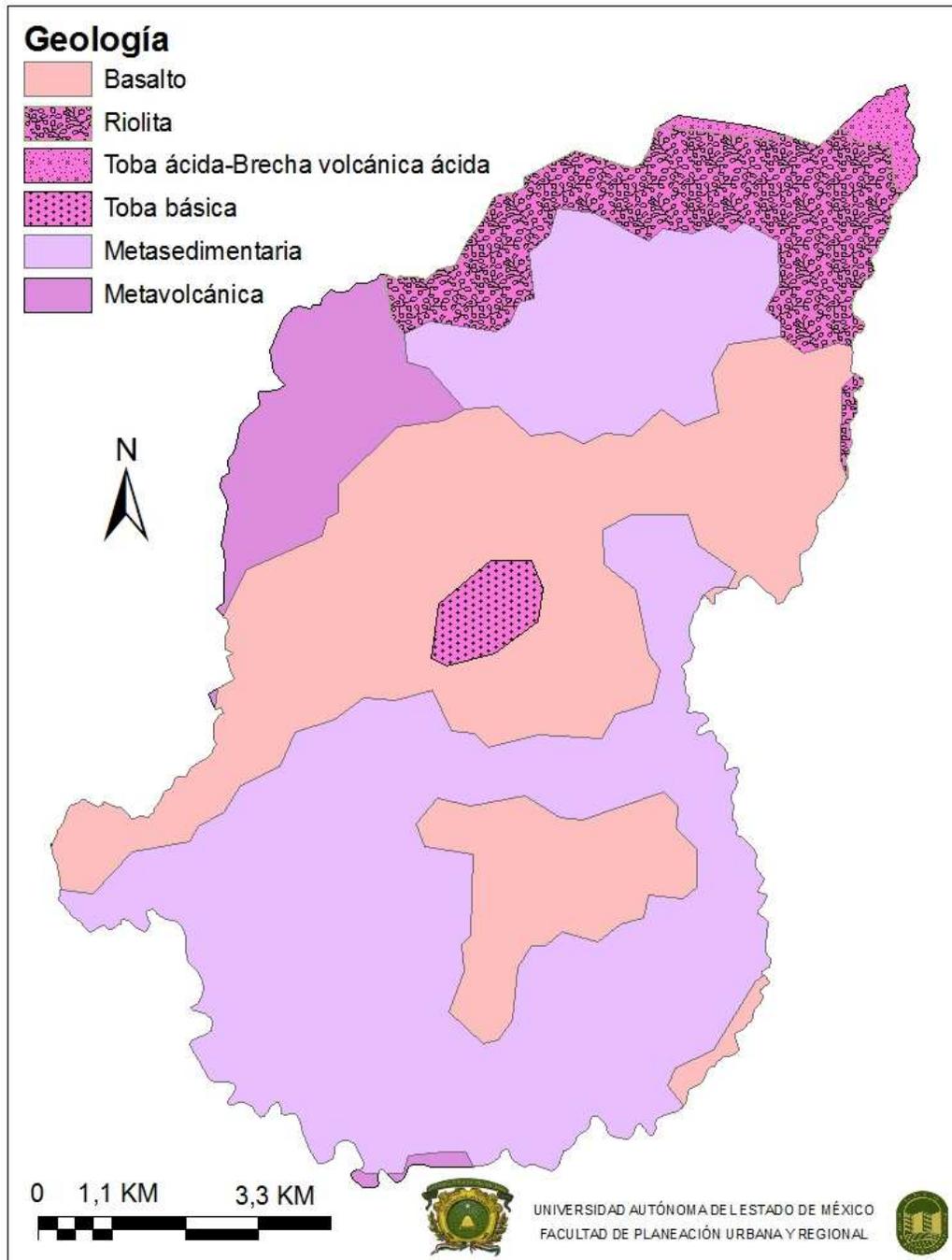
---

### a) Geología.

En el municipio en estudio se localizan diferentes tipos de litología, que corresponden a distintas eras geológicas, los que se muestran en la figura 4. Se identifican rocas ígneas extrusivas del período cenozoico, tales como basalto, toba ácida, brecha volcánica ácida, riolita y toba básica. Del período

mesozoico se rocas metamórficas como metavolcánica y metasedimentaria. Toda esta información obtenida de las cartas geológicas del INEGI serie I escala 1:50 000.

Figura 4. Geología del municipio de Zacazonapan



Elaboración propia

## **b) Edafología**

Según las cartas edafológicas del INEGI serie II escala 1:50 000 en Zacazonapan se pueden encontrar cinco unidades edáficas distintas, aunque hay algunas en las que se localiza una que es predominante pero que contiene partes significativas de otras unidades tal como se muestra continuación en la figura 5.

De acuerdo con la Base Referencial Mundial (WRB, 2007) la caracterización de suelos es.

Los cambisoles son suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo, evidentes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato; del italiano cambiare, cambiar. Se caracterizan por meteorización ligera a moderada del material parental y por ausencia de cantidades apreciables de arcilla iluvial, materia orgánica, compuestos de Al y/o Fe. Por lo general se desarrollan en terrenos llanos a montañosos en todos los climas además cuentan con un amplio rango de tipo de vegetación.

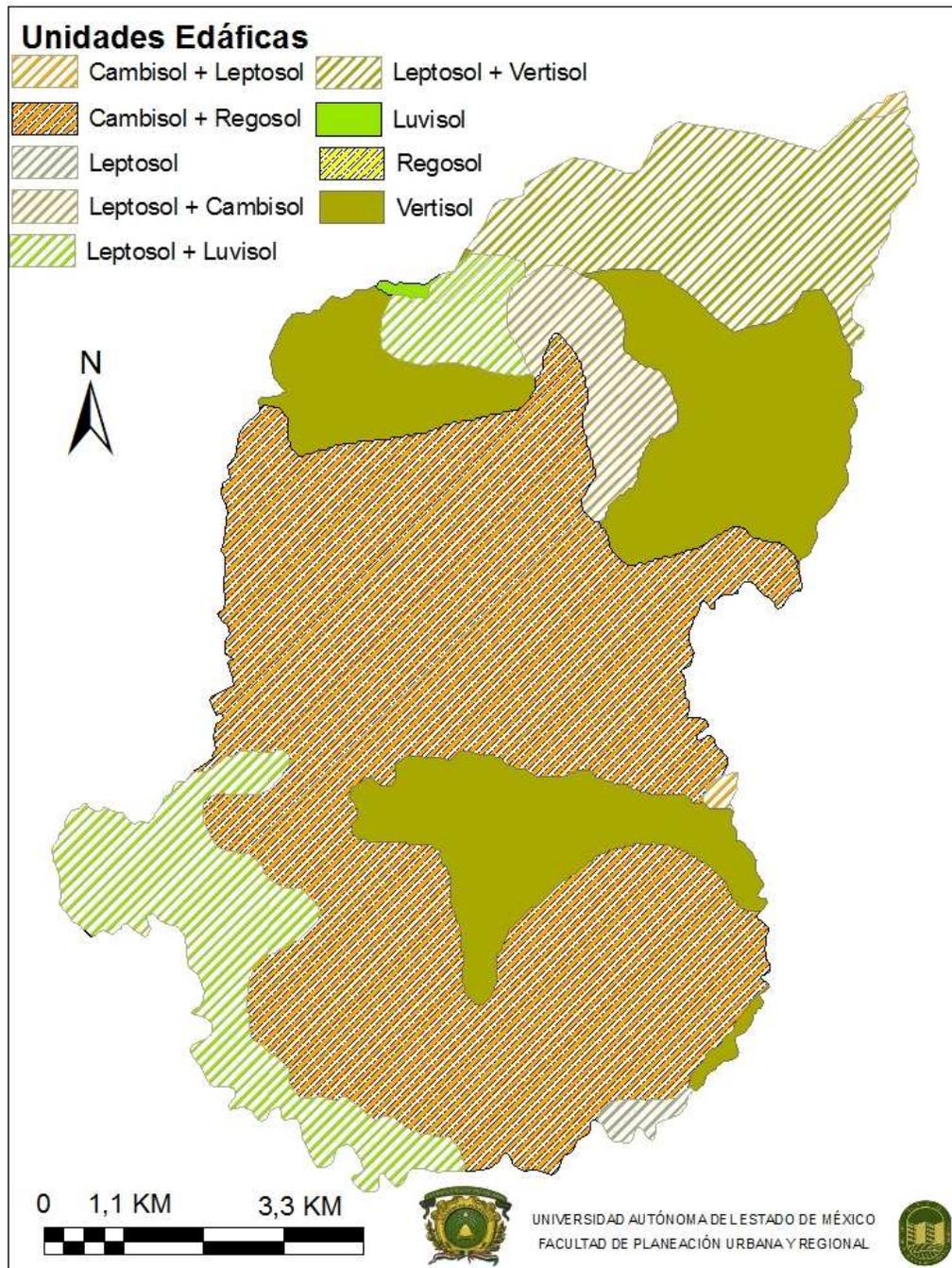
Los leptosoles son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos. Son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas.

Los luvisoles son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) que lleva a un horizonte subsuperficial árgico. Los Luvisoles tienen arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico y alta saturación con bases a ciertas profundidades.

Los regosoles son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no

son muy someros ni muy ricos en grava, están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos.

Figura 5. Unidades edáficas del municipio de Zacazonapan



Elaboración propia

Los vertisoles son suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expandibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de los años. El nombre Vertisoles (del latín vertere, dar vuelta) se refiere al reciclado interno constante del material de suelo.

### **c) Climatología**

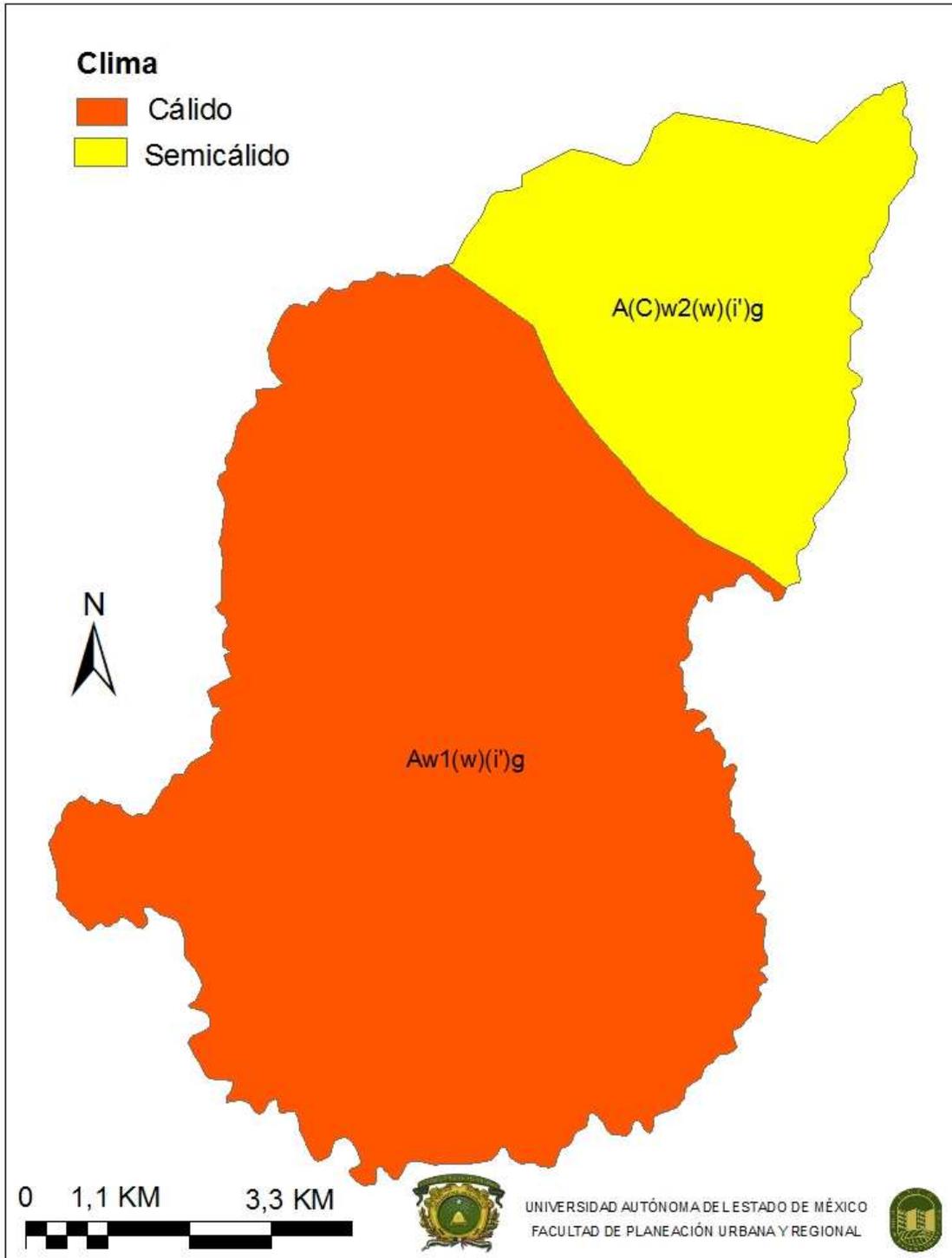
Según datos del Departamento de Zoología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2001) en la cartografía de climas del Instituto de Biología escala 1:50 000 en el municipio de Zacazonapan solo se localizan dos tipos de clima (Figura 6).

La temperatura media anual es de 23° C, la máxima de 31°C y la mínima de 15°C. La precipitación es de 1,800 milímetros anual es, presentándose vientos en mayo y esporádicamente en agosto y septiembre. Estos tipos de clima poseen un porcentaje de precipitación en invierno menor a 5, con insuficiente oscilación térmica y la temperatura más elevada se registra antes del solsticio de verano.

Las tormentas más intensas se presentan generalmente en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Los vientos, lluvias y tormentas se presentan notablemente en el mes de mayo, aunque también aparecen algunas veces en agosto y septiembre; en el periodo de lluvias son comunes las precipitaciones de granizo.

En el municipio existen terrenos laborables debido a la humedad, que los hace aptos para algunos cultivos. Con el fin de irrigar esta superficie los productores aprovechan el agua de lluvia así como los ríos, estanques, manantiales, bordos y presas para el cultivo de maíz y jitomate, tomate y caña.

Figura 6. Climas del municipio de Zacazonapan



Elaboración propia

#### **d) Hidrografía**

Según datos del INEGI (2010) en la Red Hidrográfica RH18Gf Subcuenca Rio Temascaltepec- Sistema Cutzamala-Rio Balsas escala 1:50 000, los ríos, arroyos y manantiales que nacen o pasan por el territorio municipal son afluentes del rio Cutzamala, que a su vez desemboca en el rio Balsas y este finalmente en el océano Pacífico.

El rio Temascaltepec es considerado el más importante, aunque no nace en el municipio, sobresale debido a su caudal permanente, atraviesa el territorio por la parte sur, marcando el límite con la municipalidad de Tejupilco (Figura 7).

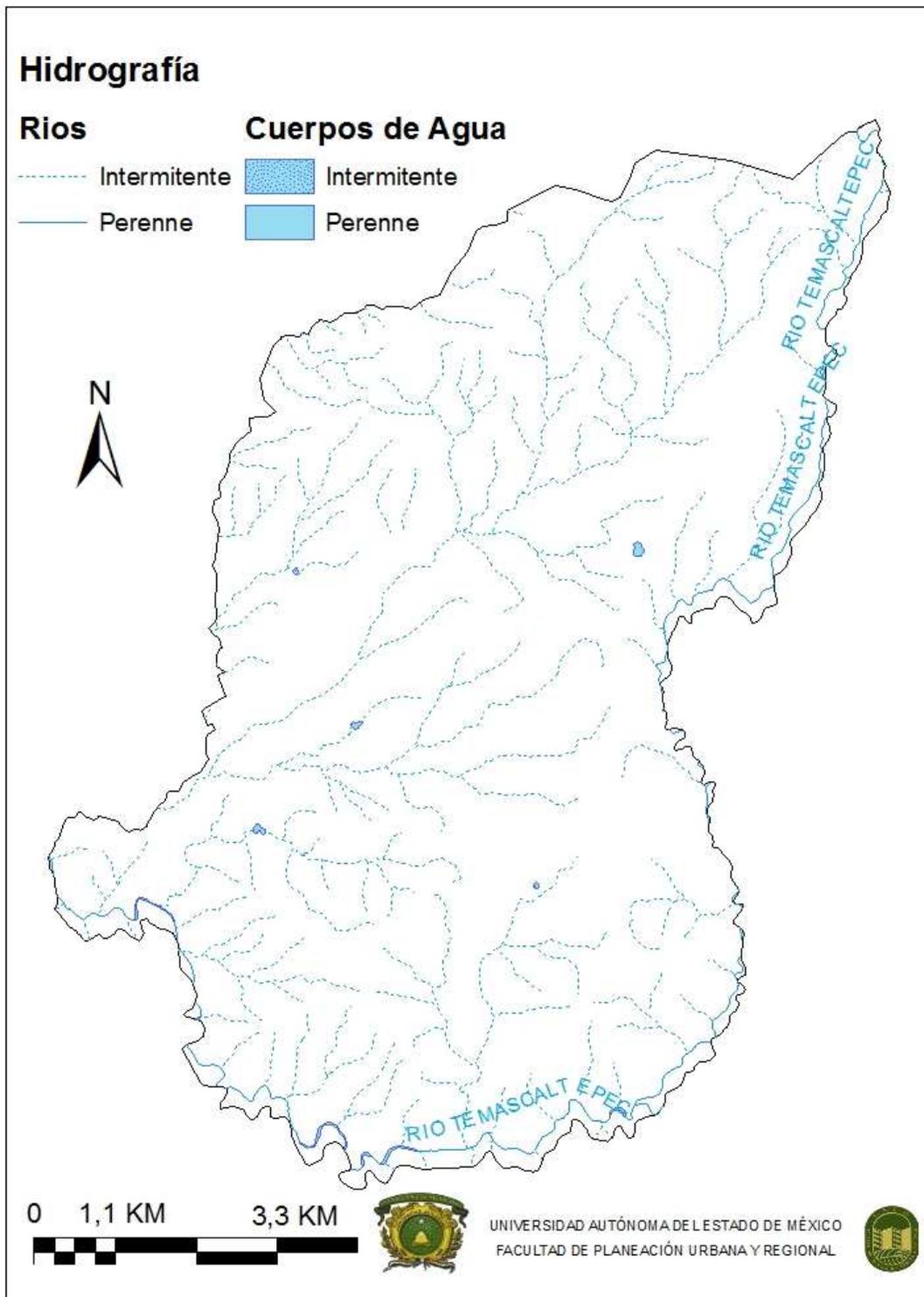
El Plan municipal del municipio reporta las corrientes de agua de importancia (H. Ayuntamiento de Zacazonapan 2000), entre ellas las siguientes:

**Arroyo Zacazonapan:** Es de caudal intermitente considerado el más importante del municipio puesto que recorre en su totalidad el territorio. Se forma por la unión de dos corrientes una que se forma en San Andrés y se le llama arroyo. De la nuez al noreste siguiendo la dirección oeste, hasta llegar a la cabecera municipal en cuya parte norte se une a la otra corriente intermitente del arroyo llamado Chiquito, que se origina en la Peña Colorada.

Al unirse esta dos corrientes acuíferas forman una sola llamada Arroyo Zacazonapan, esta sigue una dirección hacia el oeste, atraviesa del municipio, una parte sirve como límite con Otzoloapan, para posteriormente desembocar en el rio Temascaltepec.

**Arroyo La Papaya:** Es una arroyo de caudal intermitente que nace en la ceiba de los novios, recorre el municipio en la parte oeste, sirve de limite en una parte con el municipio de Otzoloapan, y continua sus cause hasta unirse al arroyo Zacazonapan.

Figura 7. Hidrografía de Zacazonapan



Elaboración propia

Arroyo San José: Nace en el pinal de Osorios, municipio de Valle de Bravo, realiza un recorrido de norte a sur, limita los municipios de Zacazonapan y Temascaltepec. Se le unen los arroyos Frio y Campanario, para todos juntos formar el río del Ahogado, también se le une al río Temascaltepec.

La hidrografía de Zacazonapan está representada además por un gran número de arroyuelos intermitentes dispersos en todo el municipio, entre los que destacan, Salto Prieto, El Naranja Agrio, La Alcantarilla, La Cañada, Cerro Pelón, entre otros.

Los bordos y represas juegan un papel muy importante, ya que permiten almacenar el agua de lluvia y así afrontar la época crítica de estiaje, su uso se destina al abrevadero de ganado, aunque también se utiliza para irrigar pequeñas superficies de terreno cultivable.

El manantial más importante es el llamado Ojo de Agua, localizado en la cabecera municipal, anteriormente se le considero como el principal suministrador de agua de la población, en la actualidad se sigue utilizando, pero en menor escala y cuando hay escasez del vital líquido. Además se destina para el riego de frutales, hortalizas y maíz en una superficie de 15 hectáreas aproximadamente.

### 2.3. Componentes bióticos

---

#### **a) Flora y fauna.**

La flora en el territorio de Zacazonapan es muy variada, de acuerdo a la localización y la altitud en las que se encuentran. En forma descendente se encuentran pinos, encinos, así como árboles propios de bosque tropical caducifolio y en los bosques mixtos de árboles con leguminosas. Hay que destacar que la vegetación original ha sido profundamente transformada por la práctica ganadera en mayor parte en lo altiplanos y en los llanos.

De acuerdo con los estudios realizados por Minera Tizapa para reforestación se presenta la siguiente clasificación sobre la flora utilizando los nombres comunes en la región (PROBOSQUE 2010)

Frutales Inducidos: Aguacate, ciruela, plátano, naranja, lima, limón, mandarina, guayaba, mango, granada, papaya, chirimoya, zapote negro, chicozapote, kiwi, mamey, calguaje, café, dátil, caña de azúcar, tamarindo, entre otros.

Frutales Silvestres: Llama, capilincillo, guayaba criolla, ciruela china y de bola, zapote blanco y amarillo, bonete, mora, guaje colorado y negro, mago criollo, timbiriche, aguacate criollo, nuez, papaya criolla, lúlu, guayabilla, nanche, arrayán, cachumba.

Árboles: Fresno, encino, cedro, ocote, encino negro, encino blanco, sabino o ahuehuete, sauce blanco, tepeguaje, amate, colorín, jacaranda, eucalipto, copal, casahuate, tepozán, huizache, jara, tepame, granadillo, casuarina, parota, diente de molino, palo dulce, capire, nanche de perro, entre otros.

Especies cultivadas: Tomate, jitomate, chile (varias especies), calabaza, calabacita, rábano, chayote, chilacayote, pepino, maíz, frijol, alegría, tabaco, caña de azúcar.

Plantas silvestres comestibles: pápalo, quelite, verdolaga, limoncillo, anís, hongos de casahuate, de llano y de monte, jocoyol, retoños de guaje, entre otros.

Plantas medicinales: manzanilla, ruda, te negro, te de monte, árnica, tomillo, mejorana, itzafiate, mirto, sábila, hierba de golpe, manrubio, orégano, meshishe, pega hueso, ajeno, apio, uña de gato.

Flores silvestres: Cempasúchil, rosa de muerto, flor de mayo, maravilla, manto, girasol amarillo, dalias, tronadora, pericón, quiebra platos. (CONABIO 2009)

Hierbas silvestres: helecho, carrizo, otate, tepechía, calalágua, heno, escobetillo, borreguitos, hierba del sapo, zeta, vemberecua, chamizo, tejucos, abrojos, prodigiosa, jabonera, maíz silvestre o teozintle, capitaneja, xiunina.

En cuestión de fauna; Zacazonapan por ser una región montañosa y agreste alberca gran diversidad, pero que debido a la deforestación, la depredación y la contaminación, se extinguen poco a poco.

La clasificación que se muestra a continuación está basada en los nombres con que se les conoce a las especies en la zona, en un estudio sobre la fauna realizado por la Minera Tizapa: (CONABIO 2009)

**Mamíferos:** Ardilla gris, ardilla de tierra o cuinique, armadillo, calcomixtle, comadreja o hurón, conejo, ratón de abazones, ratón pigmeo, ratón de campo, rata negra, coyote, mapache, murciélago, tejón, tlacuache, venado cola blanca, zorra gris, zorrillo listado.

**Aves:** Águila rastreadora, aguililla, pájaro carpintero, aura, cuervo, garza, gorrión, lechuza, paloma, pájaro vaquero, huílota, vencejo, jilguero, pájaro bobo, tecolote, tortolita, codorniz, zopilote, guaco, tordo, gavián, sarnicula, calandria, primavera, golondrina, tirano, mosquero negro, cuitlacoche, reyezuelo verdugo, vireo, chipe, pradero, guaco.

**Reptiles:** Los reptiles que se encuentran dentro de Zacazonapan son Tortuga de lodo, escorpión, lagartija, mano de metate, víbora de cascabel, culebra negra, cuchilla, cuchionera, coralillo, masacuata, culebra de agua, trompa de puerco, peces, mojarra criolla, charales, bagre, tilapia y carpa.

**Insectos:** Dentro de esta gran diversidad podemos mencionar chapulín, grillo, vinagrillo, cara de niño, jote, abeja, mosca, moscones, escarabajos, Catarina, luciérnaga, avispas, avispon, libélula, zancudos, etcétera.

## 2.4. Componentes sociales y económicos

---

### a) Demografía

A continuación se presenta la tabla 3, en la que se muestra de forma muy general la población total del municipio y algunas características importantes para el objetivo de este trabajo. Todos estos datos obtenidos del censo de población (INEGI, 2010).

Tabla 3. Población de Zacazonapan en el 2010.

Población Total del Municipio	Población Económicamente Activa	Población Económicamente Ocupada
4051	1350	1262

Fuente: INEGI, 2010

### b) Servicios en la vivienda

En Zacazonapan hay un total de 886 hogares y 890 viviendas, 81 tienen piso de tierra y 78 tienen solo una habitación.

768 de las viviendas tienen instalaciones sanitarias, 835 están conectadas al servicio público, 877 tienen acceso a la luz eléctrica. Además 77 viviendas tienen una computadora, 457 tienen una lavadora y 798 tienen televisión.

### c) Educación

En el municipio se registraron 403 analfabetos de 15 y más años, y 69 de los jóvenes entre 6 y 14 años no asisten a la escuela.

La población que no tiene escolaridad, son 417 personas de 15 años y más, 1103 tiene la escolaridad incompleta, 396 cuenta con escolaridad básica y

395 con una educación post-básica. Un total de 181 jóvenes entre 15 y 24 años de edad han asistido a la escuela, la mediana escolaridad entre la población es de 6 años.

## 2.5. Sectores económicos y ocupación de la población

La población económicamente activa del municipio (PEA) para el año 2010 de acuerdo con el INEGI en las actividades económicas, agricultura, ganadería, caza y pesca se ocupan 224 personas; para la industria se emplean 452 personas, en servicios 440 personas y en no especificados se tienen 146 personas ocupadas dando un total de 1262 dentro de la (PEA)

Las actividades agropecuarias son importantes para el desarrollo del municipio, lo cual ha fomentado que los productores se motiven para organizarse con el fin de buscar alternativas y apoyo para la producción.

Existen dos organizaciones de este tipo como son la Asociación Ganadera Ejidal, creada en febrero de 1979 y la Asociación Ganadera Local de Zacazonpan formada en octubre de 1992, ambas tienen los objetivos de fomentar la producción agropecuaria y la gestión de apoyo de las instituciones crediticias y de gobierno para cada uno de sus miembros. (GEM, 1995)

A continuación se presenta la tabla 4, en la que se puede observar el total de unidades de producción, tanto en el Estado de México, como en el municipio y las actividades principales se realizan (INEGI, 2010).

Tabla 4. Unidades de producción con actividad económica principal

UNIDADES DE PRODUCCIÓN CON ACTIVIDAD AGROPECUARIA O FORESTAL SEGÚN ACTIVIDAD PRINCIPAL						
ENTIDAD Y MUNICIPIO	UNIDADES DE PRODUCCIÓN <sup>a</sup>	ACTIVIDAD PRINCIPAL				
		AGRICULTURA	CRÍA Y EXPLOTACIÓN DE ANIMALES	CORTE DE ÁRBOLES	RECOLECCIÓN DE PRODUCTOS SILVESTRES	OTRA ACTIVIDAD
ZACAZONAPAN	277	246	25	0	0	6
<b>ESTADO DE MÉXICO</b>	<b>345 927</b>	<b>330 809</b>	<b>4 225</b>	<b>139</b>	<b>137</b>	<b>10 617</b>

INEGI 2010.

## Ganadería

La ganadería es la actividad considerada como la principal fuente de ingresos, más del 60% de la superficie del municipio de Zacazonapan se destina al uso pecuario.

Sobresale el ganado bovino, con una participación de 66.93%, siguiéndole el porcino con 19.87%, el caprino con 8.17%, el equino con 4.71% y los ovinos con 0.20%. La mayoría del ganado bovino es cruzado de criollo con la raza cebú, y explotando otras razas de ganado suizo charolais y holstein, las cuales se llevan a cabo para obtener una la producción de carne y leche.

Uno de los principales productos es la leche, en promedio se tiene una producción de 2000 litros diarios; logrando el mayor rendimiento en época de lluvia debido a que existe una gran disponibilidad de forraje. Esta producción es variable y depende del tipo de ganado; para las razas cruzadas y de doble propósito se estima un rendimiento de cuatro litros por día en promedio, en cambio las razas no cruzadas producen un promedio de 8 litros por día.

Los productos secundarios obtenidos de la leche son: queso, requesón, crema y suero, de estos el más importante es el queso, el cual desde hace años le ha dado fama al municipio de Zacazonapan.

En los caprinos y ovinos las técnicas que se utilizan para mejorar la producción solo se refiere a la adquisición de algunos sementales para el mejoramiento genético de estos. La mayor parte de la producción de las especies que se explotan se comercializa en la región de Zacazonapan.

Los bovinos se venden en pie o peso vivo y el principal mercado es el municipio de Luvianos, en algunas ocasiones se comercializan también en canal en el municipio.

La producción de leche se comercializa en Santo Tomás de los Plátanos, Colorines y Valle de Bravo y menor cantidad se vende en el municipio y para

autoconsumo. Los subproductos lácteos como el queso y la crema se comercializan en Luvianos, Tejupilco, Amatepec, Temascaltepec.

Contrastando el nivel de importancia de la actividad ganadera en términos de uso del suelo y del ingreso percibido por la población empleada en la misma, se detecta que aun cuando la economía del municipio se sustenta en esta actividad no se generan los recursos suficientes que permiten el desarrollo de la población.

### Agricultura

La diversificación de las actividades agrícolas es limitada, en el municipio se practica el monocultivo en condiciones de temporal presentándose una vez al año y en ocasiones con escasas de lluvia (GEM, 1995).

La ausencia de técnicas modernas en la actividad agrícola es una limitante debido a las características de la topografía del municipio. El maíz es el principal cultivo de temporal, las técnicas usadas por los productores son las tradicionales a través de tracción animal o yunta con el arado egipcio y por el sistema de espeque (roza, tumba y quema).

El uso de la yunta en los últimos años ha disminuido debido al elevado costo que significa rentarla.

Esa forma de cultivo al igual que la de espeque ha sido sustituida por la técnica denominada cero labranza, la que consiste en sembrar bajo la siembra de espeque y posteriormente para el control de malezas se aplican herbicidas. (GEM, 1995).

Con estas técnicas, los problemas que ocasiona el inadecuado manejo del fuego durante las quemas, son los incendios forestales, además el uso de herbicidas afecta el medio ambiente y perjudicando la flora y la fauna.

El tractor se usa en áreas susceptibles de riego y en los cultivos del ciclo otoño-invierno; sin embargo en el municipio solo se realiza la preparación de

suelos, el surcado se lleva a cabo con la yunta y el resto de los labores se hace manualmente.

La comercialización varía de acuerdo al tipo de cultivo, el maíz se comercializa para alimento de ganado en Zacazonapan y Luvianos; y en grano para el consumo humano. El uso que se le da a la producción de maíz es un 30% para el autoconsumo, el 40% para la alimentación de animales y el 30% para el mercado.

Los apoyos del gobierno estatal y federal, por medio de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) para el municipio de Zacazonapan han ocasionado algunas mejoras en la agricultura. SEDAGRO puso en marcha un programa de infraestructura hidráulica, a través del cual se han construido 23 bordos y 8 represas. (GEM, 1995). Se llevó a cabo el programa Alianza para el Campo a través de la participación federal y la coordinación de la SEDAGRO. En este los productores adquirieron herramientas agrícolas como aspersores, molinos y picadores de forraje disminuyendo el precio en un 50% de su costo. El apoyo económico que recibieron los productores por medio de PROCAMPO, beneficio un total de 101 productores, con 1,122.03 hectáreas y un monto de 623, 848.68 pesos.

Existen factores que condicionan o limitan el desarrollo de la agricultura como por ejemplo, la falta de cultivos rentables que utilicen técnicas modernas de producción, ocasionando la decadencia de recursos económicos que se destinen a incrementar la infraestructura hidráulica, como represas, presas, bordos y canales de riego, además de la ausencia de centros de investigación en materia agrícola.

## 2.6.- Discusión de las aportaciones del capítulo.

---

El municipio de Zacazonapan tiene una gran riqueza ambiental empezando con la geología que tiene gran variedad de litología debido a que cada una corresponde a distintas eras geológicas como son los basaltos las brechas volcánicas ya riolita entre otras pertenecen al periodo cenozoico; para el mesozoico se ubican las trocas metamórficas. El tipo de clima que predomina en la zona es el cálido y semicálido teniendo una temperatura media anual de 23°C con una precipitación de 1,800 milímetros anuales permitiendo tener un gran porcentaje de ríos y veneros que irrigan el territorio de Zacazonapan; al comprender estos datos se puede intuir en el tipo de edafología que tiene el municipio, tales como cambisoles, leptosoles, luvisoles, regosoles y vertisoles. Debido a la interacción de estos elementos es posible que existan terrenos laborables aptos para algunos cultivos como son el maíz jitomate, caña, tomate. Los productores aprovechan al máximo los recursos de su entorno, puesto que para irrigar las superficies arables aprovechan el agua de lluvia así como los ríos, estanques, manantiales, bordos y presas.

En esta zona también se desarrollan favorablemente la flora y la fauna, a su vez la flora está clasificada en árboles, frutales inducidos, frutales silvestres, especies cultivadas, plantas silvestres comestibles, plantas medicinales, flores silvestres, hierbas silvestres, y la fauna se clasifica en mamíferos, aves, reptiles, insectos. Estas especies se encuentran estrechamente relacionadas con la población puesto que es utilizada con fines medicinales, alimenticios y comerciales.

Al comprender los aspectos socio-económicos, es posible identificar la importancia que tiene las actividades económicas como la agricultura y la ganadería para la población ya que estas actividades son uno de los principales elementos para el desarrollo de este estudio.

La actividad ganadera es considerada como la fuente principal de ingresos, sobresale la producción de ganado bovino seguido por el porcino y el ovino.

En su mayoría el ganado bovino es cruce de criollo con la raza cebú, y explotando otras razas de ganado suizo charoláis, holstein, teniendo como resultado la una raza conocida localmente como de “doble propósito” esto se refiere a la producción de carne y leche.

La leche es uno de los principales, en promedio se tiene una producción de 2000 litros diarios; logrando el mayor rendimiento en época de lluvia debido a que existe una gran disponibilidad de forraje; los productos secundarios obtenidos de la leche son: queso, requesón, crema, éstos se comercializan en los municipios cercanos a Zacazonapan.

La actividad ganadera en términos de uso del suelo y del ingreso percibido por la población empleada en la misma, se detecta que aun cuando la economía del municipio se sustenta en esta actividad no se generan los recursos suficientes que permiten el desarrollo de la población orillándola a buscar otras opciones económicas.

Finalmente se aborda la actividad agrícola que debido a la ausencia de técnicas modernas y a la topografía del municipio es muy limitada. El principal cultivo de temporal es el maíz, las técnicas usadas en la agricultura por los productores son la yunta, la coa y el espeque. Esta actividad es poco rentable debido a que no se cuenta con los recursos necesarios para tener una óptima producción, orillando a los productores a que solo cultiven para obtener forraje y no para la producción granos que debería de ser el principal objetivo para trabajar la tierra.

## CAPÍTULO 3. ESTIMACIÓN DE CARBONO EN SUELOS Y SISTEMAS PRODUCTIVOS.

---

En éste capítulo se presentan los resultados de campo y los obtenidos de los diferentes análisis, tales como: Densidad aparente (D.A), Densidad real (D.R), pH, color, porcentaje de humedad, porcentaje de materia orgánica %M.O, porcentaje de carbono % C.O, realizados en el laboratorio y se presentan los resultados obtenidos mediante operaciones estadísticas (promedio, desviación estándar, coeficiente de variación) aplicadas a cada resultado obtenido en los análisis de laboratorio, como la cantidad de toneladas de carbono capturado por hectárea C(T/Ha) ) y el total de toneladas de carbono capturada por sistema. En el caso del 5° sitio de muestreo se presentan los resultados obtenidos a partir de dos formas de muestreo que tuvieron una estrecha relación.

A continuación se aborda las diferentes metodologías que indican cómo realizar un adecuado muestreo de suelo en campo, el resultado tendrá validez únicamente si la muestra analizada es representativa del área de estudio. Para obtener una muestra confiable se debe tomar en consideración la variabilidad de los suelos, tanto en la profundidad como en el área sobre el terreno y en conjunto con la metodología de análisis de laboratorio se obtienen resultados confiables que permitan dar respuesta a la pregunta de investigación de éste estudio y poder cumplir los objetivos planteados:

### 3.1.- Métodos

---

De acuerdo con (Gutiérrez S. et al 2006) Hay varios métodos para el estudio que podemos adaptar para estudiar el suelo, entre estos se pueden distinguir cuatro métodos generales de análisis:

- Método de variable independiente: es un método simple mientras se considera un solo detalle. Se hace la suposición intelectual de que todas las condiciones, salvo una variable. Por ejemplo en África

Ecuatorial, una porción de selva tropical lluviosa fue cortada y sustituida por campos agrícolas. Esto permitió que el suelo que había permanecido húmedo se secase durante la época de estiaje, con el resultado de que el suelo superficial se endureciera irreversiblemente. El factor que cambió fue el microclima sobre el suelo. El riesgo en el método de la variable independiente es que el observador puede llevarlo a suponer que una relación que se tiene en un lugar se conservará donde sea.

- Método de la variable dependiente: Este tiene la ventaja de generalizar y proceder con todo un sistema aunque los resultados pueden ser ilusorios. Por ejemplo si el resultado del análisis de una región de suelos establece que son variables, porque lo son las condiciones que los afectan, entonces no se produce ninguna imagen específica de la naturaleza del complejo de suelos.
- Método de microanálisis: se trata de un compromiso entre la simplicidad del método de la variable independiente y del método de la variable dependiente. El riesgo de este método es que tendemos a olvidar que nuestras unidades son en realidad complejas y podemos considerarlas como entidades definidas y establecidas.
- Método del análisis numérico: es útil para considerar que los datos sobre suelos es la ordenación que es una disposición de unidades en orden único y multidimensional. En este método el investigador hace acopio de datos de los suelos que le interesan, ordenando los valores obtenidos sobre una escala del 1 al 100; sumando los valores medidos en la escala para cada suelo y luego los compara con la suma obtenida para todos los otros suelos.

La metodología utilizada para determinar la captura de carbono en suelos agropecuarios consta del establecimiento de parcelas experimentales,,

determinación de la concentración de carbono en la parte aérea; cálculo de los almacenes de carbono en los componentes de esa porción; muestreo y medición de la concentración de carbono en el suelo; medición de la biomasa de raíces finas, medición de la concentración de carbono y densidad de las raíces finas, medición de la densidad aparente del suelo cálculo de los almacenes de carbono en los componentes subterráneos (Schulze, 2000).

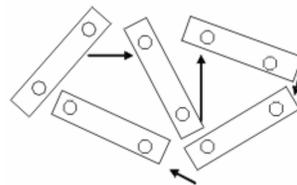
### 3.2 Establecimiento de las zonas de muestreo

---

La parcela debe dividirse en parcelas homogéneas de muestreo en cuanto a color, textura, tratamientos y cultivos. El número de muestras depende de la variabilidad o heterogeneidad de la parcela. La estimación será tanto más exacta cuanto mayor sea el número de submuestras. De modo orientativo se considera adecuado tomar de 15 a 40 muestras en cada parcela, haciéndolo en zig-zag e introduciendo todas las muestras en una bolsa común. No deberá tomarse ninguna muestra que represente una superficie mayor de 4 hectáreas. Se aconseja tomar de 10 a 20 submuestras para parcelas comprendidas entre 5000 y 10000 m<sup>2</sup>

En primer término se establecen parcelas experimentales en diferentes áreas de acuerdo con el sistema de uso de la tierra (Figura %). La dimensión de las parcelas depende de la pendiente. En las zonas ubicadas en las laderas se establecen parcelas aproximadamente de 10m de longitud y en las zonas planas de 20m x 5m esto de acuerdo con el estudio. (CP, 2001)

Figura #. Distribución de las parcelas con bosque secundario y cultivos permanente.



Fuente: CP, 2001

Para las parcelas de cultivos agrícolas anuales se realizaron mediciones de los residuos de cosecha y de las malezas que se encuentren en el suelo después de la colecta. De acuerdo con sistema *MIAF* y *Sub-Proyect Tecnologías*

*Alternativas*, 2001. En esta sección sólo describiremos el método para medir la biomasa aérea y a partir de ella calcular el "stock" de carbono en cada uno de los sistemas.

### 3.2.1 Profundidad de muestreo.

---

Depende del tipo de cultivo, pero por lo general siempre se recomienda desechar los primeros 5 cm de suelo superficial. Para la mayoría de los cultivos basta con tomar muestras de los primeros 20-40 cm del suelo. En el caso de cultivos de césped y praderas la profundidad de muestreo recomendada es de 5 a 10 cm. Por otro lado, en aquellos cultivos de raíces profundas y frutales se recomienda realizar muestreos a una profundidad de 30 a 60 cm.

### 3.2.2 Procedimiento de muestreo.

---

Para la toma de muestras se emplearon barrenas o tubos de muestreo de suelo. También se puede utilizar una pala. Para ello se ha de realizar un hoyo en forma de V, cortar una porción de 1,5 cm de la pared del hoyo y retirar la mayor parte de la muestra con la hoja. Cada muestra debe incluir suelo de toda la profundidad del muestreo.

Una vez terminada la toma de muestras, se recomienda mezclar todas las muestras juntas para obtener una mezcla de suelo homogénea. Tomar aproximadamente 1 kg de esta mezcla, dejarla secar al aire y enviarlo al laboratorio de análisis, especificando al máximo todos los datos de la parcela.

## 3.3 Metodología aplicada

---

El muestreo se realizó el 22 de noviembre de 2011. Se tomaron 11 muestras con una barrena cubriendo todo el terreno en forma de zigzag y de cada punto de muestreo se tomó una muestra de suelo de 0-20cm y la muestra de subsuelo fue de 20-40 cm de profundidad; posteriormente se colocaron en dos cubetas una correspondía al suelo y las otra al subsuelo.

Después de obtener las once muestras se vaciaron cada una de las cubetas sobre un plástico y se revolviaron las muestras hasta obtener una muestra homogénea, por el método del cuarteo se tomó una cuarta parte de esa muestra y se colocó en bolsas de plástico etiquetadas con los datos de cada muestra para posteriormente hacer el análisis en el laboratorio.

En el caso del sistema productivo número 5 (La Cruz) se hicieron dos tipos de muestreo con las barrenas:

- El primero es el que anteriormente se explicó y consistió en tomar 18 muestras de las cuales 11 fueron de suelo y 7 de subsuelo; estas se colocaron en cubetas que correspondía a cada caso y se realizó una muestra homogénea utilizando el método del cuarteo; se tomó  $\frac{1}{4}$  parte de la muestras mezcladas de suelo y de subsuelo respectivamente para realizar posteriormente análisis de laboratorio.
- El segundo muestreo se realizó tomando 18 muestras de las cuales 11 fueron de suelo y 7 de subsuelo y cada una de estas muestras se guardó en una bolsa etiquetada con los datos de la misma para posteriormente hacerles los análisis en el laboratorio por separado.

Cabe aclarar que el número de muestras obtenidas estuvieron determinadas por la pedregosidad del terreno, ya que en algunos puntos se tenía 40cm o más de profundidad y en otros se tenía menos de 20cm.

### 3.4 Metodología del análisis fisicoquímico

---

En el laboratorio a cada una de las muestras se les realizaron los análisis de Densidad Aparente (D.A), Densidad Real (D.R), de acuerdo con el Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos 1991 y los análisis de pH con H<sub>2</sub>O, pH con KCl, contenido de Humedad, Materia Orgánica (M.O), Porcentaje de Carbono Orgánico (%C.O); se hicieron de acuerdo a la Norma-021RENAT 2000.

En este apartado se explica la metodología que se utilizó en cada uno de los análisis antes mencionados:

### **Preparación de las muestras**

- I. Las muestras obtenidas en campo se pusieron a secar sobre papel periódico a temperatura ambiental durante 15 días.
- II. Una vez seco el suelo se colocó sobre papel periódico limpio para proceder a tritararlo con un mazo de madera, evitando romper las partículas del suelo y los fragmentos de rocas visibles
- III. Se pasó el suelo por un tamiz de 2 mm de abertura, la parte que quedo en el tamiz se guardó por separado en una bolsa limpia previamente etiquetada con los datos de la muestra, de la misma manera el suelo que paso por el tamiz se guardó en bolsas de plástico etiquetadas. Esta fracción de suelo es el utilizado para determinar las propiedades físicas y químicas.

### **Densidad Aparente (D.A).**

- I. Se pesó una probeta de 10 ml vacía y seca.
- II. Se le agrego suelo a la probeta hasta los 10 ml. y se golpeó ligeramente 10 veces sobre la franela.
- III. Nuevamente se pesó la probeta con los 10 ml. de suelo
- IV. Para obtener los resultados de (D.A) se resta al peso de la probeta con el suelo, el peso de la probeta sola; se divide el resultado de la diferencia entre 10, para obtener la densidad del suelo.
- V. Estos cuatro paso se repitieron tres veces y se aplicó la formula  
$$D. A. = \frac{\text{Peso del suelo}}{\text{Volumen}} = \text{g/cm}^3$$
  
Donde V es el volumen y P su peso la densidad aparente.

### **Densidad Real (D.R).**

- I. Se peso el matraz limpio y seco manipulándolo con pinzas.
- II. En el matraz se colocó una muestra de suelo de 2.5 gramos y nuevamente se pesó el matraz.

- III. con una picea se agregó una tercera parte de agua destilada y con un movimiento de rotación suave se eliminaron las burbujas que se formaron al agregar el agua
- IV. Se dejó reposar 30 minutos.
- V. Se llenó de agua el matraz hasta el aforo; nuevamente se pesó el matraz con suelo y agua.
- VI. Se lavó el matraz y déjelo secar en la estufa, sáquelo y deje enfriar en un desecador.
- VII. Una vez seco el matraz se llenó con agua destilada hasta el aforo y se pesó.

Con los pesos obtenidos, calcule la densidad por medio de la siguiente relación:

$$\text{Densidad Real} = \frac{S}{S + A - (S + a)} = (g / cm^3)$$

Dónde:

S = Peso de la muestra de suelo

A = Peso del agua (sin el peso del matraz)

S + a = Peso del suelo + peso del agua (sin el peso del matraz).

### **Determinación de pH.**

- I. Se calibro el potenciómetro con soluciones buffer pH 4.00, 7.00, 10.00.
- II. Por duplicado se pesaron 5 gramos de suelo y se colocó en vasos de pastico etiquetados ( vaso 1 y 2)

- III. Se agregó 25 ml de agua destilada a un vaso (1) y 25 ml de KCl 1N al vaso (2) y se agitaron durante 30 min.
- IV. Con el potenciómetro calibrado se obtuvo las lecturas de pH de las muestras

### **Contenido de Humedad**

- I. Se lavaron y limpiaron perfectamente e identifique los botes de aluminio a utilizar. Introduzca los botes con todo y tapa a la estufa durante 3 minutos.
- II. Con las pinzas se sacaron los botes de la estufa y colóquelos en el desecador de vacío hasta que se enfríen después se pesaron con todo y tapa, obteniendo el peso del bote (PB).
- III. Se pesaron 10 g de muestra y se colocó en el bote de aluminio.
- IV. Pese el bote con el suelo húmedo, este peso deberá ser el peso del bote más el peso del suelo húmedo (PB + Psh).
- V. Destape el bote con el suelo húmedo, coloque la tapa en la parte inferior e introdúzcalo a la estufa a una temperatura de 105 C.
- VI. Después de 24 horas saque el bote de la estufa tápelo y colóquelo en el desecador de vacío hasta que se enfríe, posteriormente pese el bote con la muestra seca, este peso será el peso del bote más el peso del suelo seco (PB + Pss).
- VII. Vuelva a meter el bote a la estufa durante una hora y después se volvió a realizar el paso VI en intervalos de una hora hasta obtener el peso constante.
- VIII. Se aplicó la formula

$$\theta g = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} \times 100$$

Dónde:

$\theta g$  = Contenido de humedad gravimétrica %

$PB$  = Peso del suelo con tapa.

$Psh$  = Peso de suelo húmedo

$PB + Psh$  = Peso del bote más peso del suelo húmedo

### **Materia Orgánica (M.O).**

- I. Se pesaron 0.25 g de suelo seco y pasado por un tamiz de 0.5 mm. en caso de ser un suelo con porcentaje alto de materia orgánica, pese solo 0.2 g .
- II. Coloqué el suelo en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Procese un testigo sin suelo.
- III. Agregué exactamente 10 ml de dicromato de potasio 1N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo.
- IV. Se agregó rápidamente con la bureta 20 ml de ácido sulfúrico concentrado directamente a la suspensión y gire nuevamente el matraz. Mezcle con precaución, ya que se le desprenden gases.
- V. Agite por un minuto y deje 30 minutos en reposo sobre una lámina de asbesto o sobre una mesa de madera, evitando las mesas de acero o cemento.
- VI. Agregué 200 ml de agua destilada al matraz.
- VII. Agregué 5 ml de ácido fosfórico concentrado.
- VIII. Se adiciono de 5 a 10 gotas del indicador difenilamina poco antes de iniciar la titulación.

IX. Inicie la titulación con la disolución de sulfato ferroso gota a gota hasta un punto final de color verde claro.

X. Posteriormente se realizaron los cálculos empleando la fórmula

$$\% \text{ de C. Orgánico} = \frac{B-T}{G} N \times 0.39$$

Dónde:

$B$  = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el testigo (ml)

$T$  = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml)

$N$  = Normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras)

$G$  = Peso de la muestra empleada (g)

$\% M. O.$  =  $\% C.$  orgánico  $\times 1.724$ .

### 3.5. Descripción de los sistemas productivos, muestreo y resultados de laboratorio.

---

En este apartado se describen los sistemas productivos y la estimación de carbono en los suelos.

Sistema pastoril o extensivo, sistema de agricultura extensiva o de temporal y sistema agrícola de riego. El primero incluye los parajes La Alcantarilla, Los huajes y La Cruz; el segundo en La Alcantarilla, Los Huajes, La mesa y La Cruz, y finalmente el tercero que corresponde al cultivo de caña de azúcar.

#### Sistema pastoril o extensivo

En el manejo del ganado bovino la alimentación está basada en el pastoreo libre y extensivo, sobre todo en la época de lluvias. Durante la época de estiaje con una duración de 7 meses, los productores gastan fuertes cantidades de dinero debido a que no existe forraje disponible, lo que los obliga a usar alimentos balanceados; esto trae como consecuencia una rentabilidad muy baja y evita que los productores del municipio puedan competir en los mercados regionales y adicionalmente el manejo extensivo del ganado provoca el deterioro de los suelos y la vegetación nativa (GEM, 1995).

Las condiciones del sistema pastoril o extensivo se aprecian de manera específica en los sitios que se muestrearon en este estudio.

### 3.5.1. Punto 1. (La Alcantarilla, Los Huajes)

La zona de muestreo está situada en un área con ganadería extensiva y cubierta vegetal de selva baja caducifolia. El área consta de alrededor de 500m<sup>2</sup> de superficie, la cual cuenta con la presencia de ganado durante todo el año, con un mínimo de 20 a 25 cabezas de ganado las 24 horas del día. El terreno tiene una pendiente de 15° y presenta pisada de vacas con un porcentaje de afectación severo.

Foto 1 y 2. Sistema productivo La Alcantarilla, Los Huajes.



Las muestras que se tomaron en la parte más baja del terreno con relación a la pendiente de 15°, fueron de aproximadamente 40 centímetros de profundidad considerando el suelo y subsuelo, la presencia de rocas fue de 5% en comparación con las muestras que se tomaron en las partes más altas del terreno, las que presentaban una gran cantidad de roca y mayor porcentaje en el subsuelo, la profundidad de dichas muestras fue de 30cm.

A continuación se registran los resultados de los análisis que se realizaron en el laboratorio (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de laboratorio del punto uno.

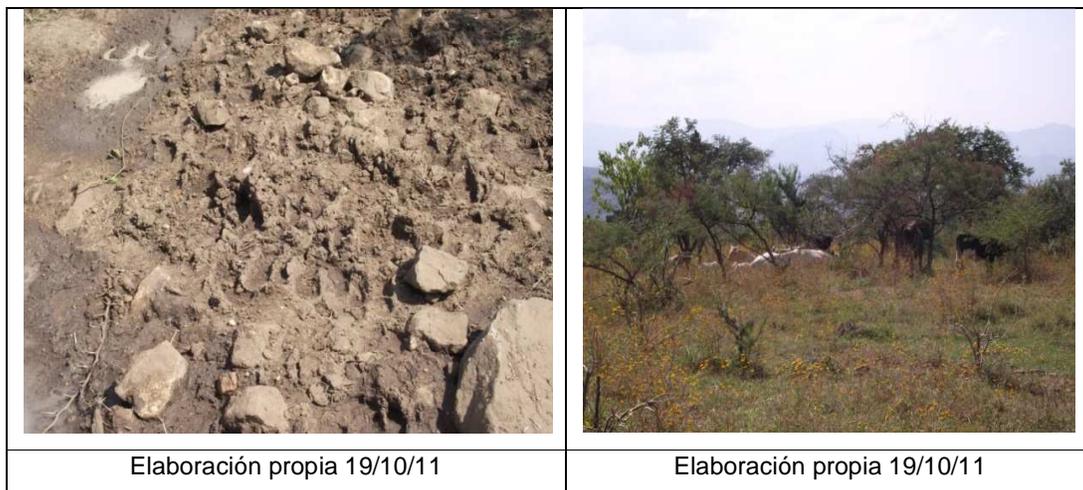
	%C.O	D.A	D.R	pH. H <sub>2</sub> O	pH. KCl	%Humedad	C(T/Ha)	Ton/ Sistema Productivo
Suelo	3.83	1.07	2.25	6.08	4.97	3.70	82.49	121.23
Subsuelo	1.85	1.05	2.45	6.11	4.48	3.10	38.75	

Elaboración propia

### 3.5.2. Punto 2 (La cruz)

El sitio tiene presencia de ganadería extensiva, permanente durante todo el año y 24 horas al día, dicha área tiene una superficie de 10,000m<sup>2</sup> con una pendiente de 5°, además de presentar pisadas de vacas con un porcentaje de afectación severo y el número mínimo de cabezas de ganado que está en la zona es de 20 ejemplares.

Foto 3 y 4. Sistema productivo La Cruz (ganadería extensiva)



En este sitio se hicieron dos tipos de muestreo con las barrenas: El método de muestras compuestas y el método de muestras separadas.

Foto 5 y 6. Muestreo del suelo en el sitio



Cabe aclarar que el número de muestras obtenidas estuvieron determinadas por la pedregosidad del terreno, ya que en algunos puntos se tenía 40cm o más de profundidad y en otros se tenía menos de 20cm. A continuación se presentan las tablas 6, 7,8, las que registran los resultados de los análisis que se realizaron en el laboratorio.

Tabla 6. Resultados de laboratorio en la muestra compuesta.

	%C.O	D.A	D.R	pH. H2O	pH. KCl	% Humedad	C(T/Ha)	Ton/ Sistema Productivo
Suelo	3.98	0.98	2.74	5.58	4.64	2.37	77.72	112.87
Subsuelo	1.54	1.14	2.32	6.16	4.52	6.99	35.15	

Elaboración propia

Tabla 7. Resultados de laboratorio en las muestras separadas de suelo.

Folio	Profundidad	%C. O	D.A	D.R	pH. H2O	pH. KCl	%Humedad	C(T/Ha)
S177/12/1	0-20	1.54	1.09	2.31	5.74	4.68	6.48	33.64
S178/12	0-20	10.39	0.93	1.99	5.43	4.21	5.16	192.45
S179/12	0-20	5.20	1.12	2.33	5.52	4.46	3.88	116.70
S181/12	0-20	4.39	0.91	2.10	6.03	4.87	6.55	79.81
S183/12	0-20	6.32	1.07	2.73	5.48	4.18	4.45	135.67
S185/12	0-20	5.82	1.03	1.89	6.41	5.49	3.87	119.97
S186/12	0-20	7.68	1.04	2.18	5.75	4.25	4.22	159.82
S187/12	0-20	2.07	1.08	2.26	6.03	4.37	5.24	44.65
S189/12	0-20	3.50	0.98	2.21	5.63	4.27	5.13	68.79
S190/12	0-20	6.59	1.03	2.21	5.77	4.96	4.90	135.85
S192/12	0-20	4.61	1.09	2.20	6.14	5.06	6.52	100.43

Elaboración propia

Tabla 8. Resultados de laboratorio en las muestras separadas de subsuelo.

Resultados de los Análisis hechos en el laboratorio a las muestras separadas (SUBSUELO)								
Folio	Profundidad	%C. O	D.A	D.R	pH. H2O	pH. KCl	% Humedad	C(T/Ha)
S177/12/2	20-40	3.07	1.15	2.79	5.81	4.68	4.18	70.58
S180/12	20-40	2.11	1.16	2.32	6.02	4.63	6.64	49.03
S182/12	20-40	2.46	0.90	1.51	5.60	4.88	4.54	44.26
S184/12	20-40	1.07	1.06	2.39	6.25	4.70	6.03	22.75
S188/12	20-40	2.24	1.14	2.34	5.86	4.52	5.71	51.02
S191/12	20-40	1.61	1.11	2.33	5.47	4.47	4.62	35.73
S193/12	20-40	2.38	1.11	2.32	6.01	4.40	4.73	52.93

Elaboración propia

## Sistema de agricultura extensiva o de temporal

En el municipio en general los suelos dominantes son los arcilloso-arenosos aunque también se encuentran suelos ricos en materia orgánica en la zona montañosa, en cuanto a la profundidad que tiene es variable, existen capas arables de 20 a 50 centímetros y otras que apenas alcanzan los 50 centímetros.

Las condiciones del sistema de agricultura extensiva o de temporal se aprecian de manera específica en los sitios que se muestrearon en este estudio

### 3.5.3. Punto 3 (La Alcantarilla, La Mesa)

El muestreo se realizó en un área agrícola de temporal y ganadería, asociada a una cobertura forestal dispuesta en la periferia. Es un área de 3 hectáreas, localizada en una pendiente de 8°, la parcela es utilizada para agricultura de temporal y ganado, sin embargo en el presente año 2011 no se cultivó, debido a los elevados precios de los abonos y los herbicidas.

Foto 7 y 8. Sistema productivo La Alcantarilla, La Mesa



En estas parcelas se cultiva maíz utilizando semillas de híbrido tornado, que produce dos mazorcas por caña; las semillas están previamente desinfectadas dándoles un color rosado. Debido a la topografía que presentan las parcelas y el elevado precio de la renta de los tractores, la siembra es generalmente con coa; la última vez que se utilizó el tractor fue en el año de 2009.

En esta milpa se obtienen 3 toneladas de maíz por hectárea y se cosecha cortando todo el rastrojo, esto lo hacen con el fin de molerlo y dárselo de alimento a los animales en época de estiaje. La parcela presenta pisada de vaca. (Tabla 9).

Tabla 9. Resultados de laboratorio del punto tres.

	%C.O	D.A	D.R	pH. H2O	pH. KCl	%Humedad	C(T/Ha)	Ton/ Sistema Productivo
Suelo	2.46	1.23	2.06	5.13	4.46	3.09	60.344	124.17
Subsuelo	2.67	1.20	2.26	5.69	4.37	3.10	63.822	

Elaboración propia

#### 3.5.4. Punto 4 (La cruz)

La zona de muestreo está en una ladera con una pendiente de 30° y en una superficie de 3 hectáreas, conforma un área de agricultura de temporal con presencia forestal. El terreno presenta afloramiento de roca de un 15% y 5% de vegetación arbustiva.

Para sembrar se utilizan 28 cuartillos (que equivalen a 42 kg) para las 3 hectáreas y 10 cuartillos para 1 hectárea. En 1 hectárea se utilizan alrededor de 75,000 granos, ya que se siembran 4 granos por mata.

Foto 9 sistema productivo La Cruz



Elaboración propia 22/10/11

Esta milpa se cosecha en diciembre, solo se sacan las mazorcas y después se deja libre al ganado para que se coma el rastrojo; este terreno esta “DADO”, la comunidad utiliza este término, para referirse a que el dueño de la parcela, la presta a otra persona para que la siembre, con la condición de que solo coseche y deje el rastrojo para que el propietario lo utilice como forraje para su ganado. Tabla 10

Tabla 10. Resultados de laboratorio del punto cuatro.

	%C.O	D.A	D.R	pH. H2O	pH. KCl	%Humedad	C(T/Ha)	Ton/ Sistema Productivo
Suelo	3.15	0.81	2.34	5.63	4.46	3.10	50.83	93.66
Subsuelo	1.92	1.12	1.85	5.74	4.54	4.61	42.83	

Elaboración propia

Sistema agrícola de riego.

En el municipio se producen cultivos hortícolas, entre ellos tomate y jitomate se comercializan en el centro de venta que se encuentra en Luvianos y en las centrales de abasto de Toluca y el Distrito Federal. En la zona de riego de Zacazonapan los suelos presentan un pH ligeramente ácido, bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, pero se hallan bien abastecidos de

potasio, calcio y magnesio asimilable. El contenido de carbonatos es bajo, no se tiene problemas de sales ni de sodio intercambiable (GEM, 1995).

### 3.5.5. Punto 5 (Caña de Azúcar)

El muestreo se realizó en un terreno de 3 hectáreas de una hacienda, que por más de 70 años cultiva la caña de azúcar con más de 1000 tareas al año, lo que equivale a 30 tareas por hectárea. Para el cultivo de la caña se trabaja con yunta y se cultiva la caña habanera. Se utilizan 9kg de urea cada 15 tareas (la urea se prepara con un bulto de urea por dos bultos de tierra). Las milpas se riegan cada 15 o 20 días haga o no haga falta, esto ha provocado que existan procesos gley en el suelo. Para la fertilización se hace una picada que consiste en el aporque o juntar la tierra hacia los surcos; en la cosecha no se quema la caña; se corta a mano con machete o con oz.

Foto 10 y 11. Sistema productivo Caña de Azúcar



Este muestreo fue el más tardado debido a que existe una gran presencia de limos y arcillas dificultando sacar la muestra de la barrena. El suelo presenta proceso gley, éste se presenta en suelos que por periodos largos de tiempo se encuentran sumergidos en agua o están saturados de ésta y en este caso se debe a la forma de riego de dicho sistema.

Tabla 11. Resultados de laboratorio del punto cinco.

	%C.O	D.A	D.R	pH. H <sub>2</sub> O	pH. KCl	% Humedad	C(T/Ha)	Ton/ Sistema Productivo
Suelo	4.34	1.15	2.36	6.33	4.63	3.54	100.11	124.52
Subsuelo	1.00	1.22	2.43	7.49	6.37	5.30	24.42	

Elaboración propia

### 3.6. Discusión de resultados

---

Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio difieren de acuerdo al manejo que se le da a cada uno de los sistemas productivos y al relieve que presentan. Uno de los principales factores que intervienen en la captura de carbono en el suelo, es la pendiente que presenta el sistema productivo, ya que en el caso del primer punto de muestreo (La alcantarilla, Los huajes) corresponde al sistema pastoril o extensivo de acuerdo a la clasificación de sistemas productivos de FAO (2009), el uso que se le da a este sistema es para ganadería extensiva con una ligera presencia forestal, el terreno tiene una pendiente de 15° y una afectación severa debido al porcentaje de pisadas de vacas encontradas. Los resultados obtenidos de toneladas de carbono capturado en el suelo fue de 121.23 ton y el segundo sitio de muestreo (La Alcantarilla, Los Huajes, La mesa) corresponde al sistema de Agricultura extensiva o de temporal, tiene una pendiente de 8°, es un área agrícola de temporal y ganadería con forestal en la periferia; destacando que en el año 2011 no se cultivó en esta área a causa de los elevados precios de los abonos y herbicidas. El resultado obtenido fue de 124.16ton de carbono capturado en el suelo por hectárea de esta manera existe una disminución de la captura de 3ton aproximadamente con respecto al segundo y la diferencia de la pendiente es de 7°. De acuerdo con (Acosta, M. et al, 2001) el comportamiento del carbono capturado en el suelo en una zona de ladera disminuye al aumentar la pendiente, además del tipo de vegetación que se encuentre en dicha zona. La tercera zona de muestreo (La Cruz) corresponde de acuerdo con la clasificación de FAO a la Agricultura extensiva o de temporal, se ubica en una ladera con una pendiente de 30° en una superficie de 3ha, el área de

agricultura de temporal con presencia forestal. El terreno tiene presencia de afloramiento de roca de un 15% y con un 5% de vegetación arbustiva. Los análisis realizados en el laboratorio arrojaron un resultado de 93.65 ton de carbono capturado por hectárea teniendo una caída de 30.5081 ton con respecto al segundo punto de muestreo, esta cantidad de captura de carbono de acuerdo con (Acosta, M. et al, 2001) es aceptable ya en una ladera mayor a 30° existe una menor acumulación e incorporación de materia orgánica (M.O) debido a que está más expuesta a la erosión y debido a la pendiente los microorganismos tienen una mayor movilidad en el suelo; entre esto dos puntos, la diferencia en el manejo es que en el segundo punto, además de la agricultura se introduce el ganado para pastoreo y en el tercer punto solo es utilizado para la producción agrícola y el zacate es retirado de la parcela para el consumo del ganado en los potreros. Otro factor que interviene en la captura de carbono es la presencia de la materia orgánica, de acuerdo con el estudio de (FAO 2009), la pérdida de la materia orgánica tiende a disminuir la captura de C de un 10% a 20%, otra situación negativa que tiene el punto tres en la captura de carbono es la pérdida de la materia orgánica que se hace al retirar el zacate de la parcela.

Para el cuarto sitio (Caña de Azúcar) que de acuerdo a la clasificación de FAO (2001) corresponde al sistema agrícola de riego en un terreno de 3ha que pertenece a una hacienda que por más de 70 años cultiva la caña de azúcar con más de 1000 tareas al año esto equivale a 30 tareas por hectárea (una tarea refiere al trabajo realizado por el campesino en la parcela). Cada 15 días se riegan las parcelas con el sistema de riego por inundación; así sea en épocas de lluvia o no. Se obtuvo el siguiente resultado en el laboratorio 124.52 ton de carbono capturado por hectárea dada la especie *Saccharum officinarum* tienen una gran capacidad para a la captura de carbono y de acuerdo con (Sierra Cárdenas, 2010) la caña de azúcar presenta varios servicios ambientales asociados a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>.

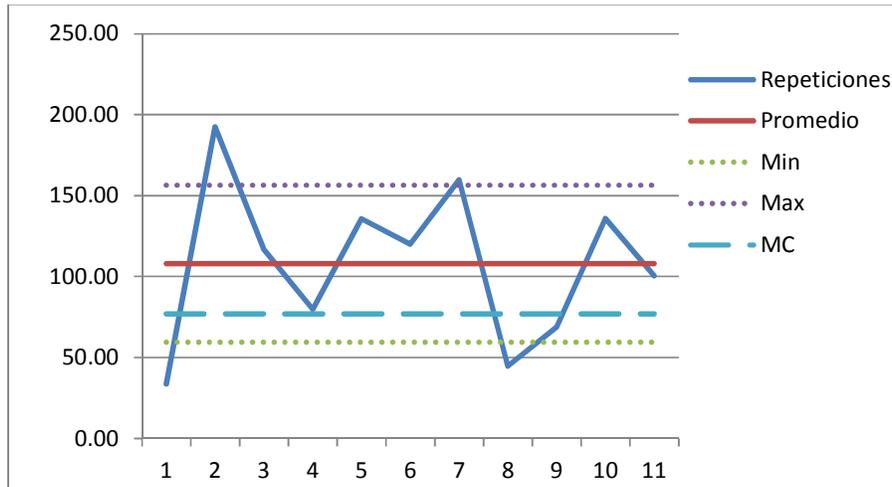
Este punto de muestro tiene muchos factores que favorecen la captura de C, en primer lugar la pendiente no es mayor a 5° y lo que beneficia es el manejo que se le da a este sistema productivo, ya que para abonar la parcela se

emplea la lama de los animales de esta forma se incorpora mas materia orgánica al suelo y otro punto más importante es que para la cosecha de la caña de azúcar o (zafra) no se hace de la manera tradicional, el cual consiste en la quema del cultivo antes de cortarlo, en el sitio del muestreo, las cañas se cortan sin quemar y las hojas son regresadas a la parcela; también la forma de riego y el clima cálido de la región favorece a la descomposición de la materia orgánica acelerando un poco el proceso de la captura de carbono; debido a estos factores este sistema productivo es el que presenta la mayor captura de carbono en los cinco sitios que se muestrearon para este estudio.

Finalmente en el quinto sitio de muestreo (La Cruz) que de acuerdo a la clasificación de FAO (2009) es un sistema pastoril o extensivo, tiene un uso de ganadería extensiva permanente durante todo el año, 24 horas al día, dicha área tiene una superficie de 10,000m<sup>2</sup> con una pendiente de 5°, la aportación de materia orgánica que se le hace al suelo mediante las excretas de los animales contribuye a la captura de C, además de presentar pisada de vacas con un porcentaje de afectación severo y el número mínimo de cabezas de ganado que está en la zona es de 20 ejemplares. Se obtuvo un resultado de *112.84ton* de carbono capturado en el suelo.

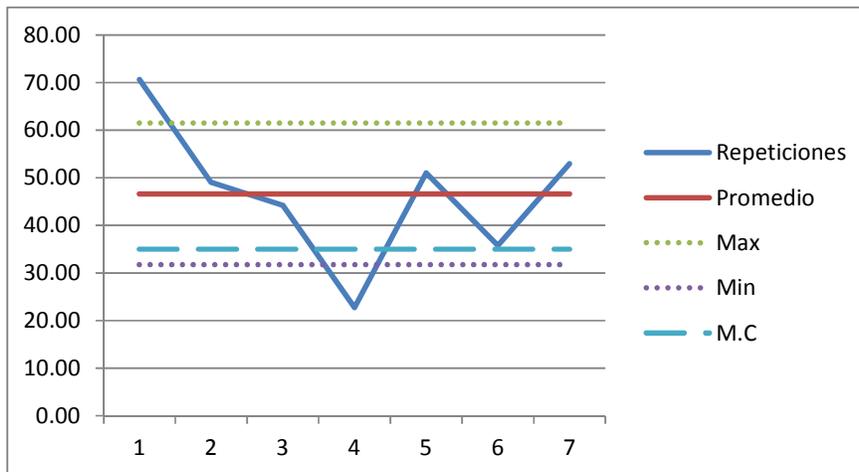
Al obtener los resultados del muestreo por separación, se obtuvieron datos estadísticos que comprueban que el carbono capturado en sitio, el cual se obtuvo del muestreo por cuarteo se encuentra dentro de la media estándar. Mediante el muestreo separado se obtienen datos que permiten establecer rango de confiabilidad de las mediciones de los parámetros del suelo, particularmente el carbono edáfico, como se observa en las gráficas 1 y 2.

Gráfica 1. Resultados del método de muestreo por cuarteo



Elaboración propia

Gráfica 2. Resultados del método de muestreo separado



Elaboración propia

No obstante que las dos formas de muestreo son adecuadas, la muestra compuesta tiende a subestimar el almacén de carbono edáfico, el valor puntual se sitúa por debajo de la media aritmética obteniendo un dato aproximado a la captura de carbono real que se encuentra en el suelo; la ventaja de aplicar el método del cuarteo, es que se requieren menos muestras para analizar en laboratorio y por lo tanto se generan menos residuos peligrosos mitigando el impacto al medio ambiente.

## Conclusiones

---

Uno de los principales responsables de la aceleración del efecto invernadero es el dióxido de carbono; sin embargo el sistema suelo está demostrado que después del mar es el que tiene mayor capacidad de almacenaje de carbono, pero existen pocos estudios sobre la captura de carbono particularmente en suelo de ambientes cálidos.

En el ambiente cálido del municipio de Zacazonapan no solo las condiciones físicas y biológicas del suelo inciden en las variaciones del contenido de carbono de los sistemas productivos analizados, sino más aún, la intervención humana a través de las prácticas de manejo tienen un papel principal en la explicación de las variaciones del contenido de carbono y materia orgánica en los suelos de la zona de estudio.

Los cinco sistemas productivos identificados en la zona de estudio son representativos de la adaptación del uso de la tierra a las condiciones biofísicas prevalecientes en parcelas ubicadas en planicie y laderas. Estos son: Sistema pastoril o extensivo (La alcantarilla, Los huajes), sistema pastoril o extensivo (La Cruz), sistema de agricultura extensiva o de temporal (La Alcantarilla, Los Huajes, La mesa), sistema de agricultura extensiva o de temporal (La Cruz), sistema agrícola de riego (Caña de azúcar).

El muestreo en los diferentes sistemas productivos se realizó dentro de los parámetros que han sido establecidos en diversos trabajos (20-30 cms), los resultados del muestreo de suelo y subsuelo confirmaron que la mayor cantidad de carbono se almacena en el suelo y que por lo tanto las existencias de carbono en este compartimiento superior están expuestas a los efectos positivos o negativos de los sistemas de aprovechamiento y uso de la tierra (prácticas de manejo).

La variación en los contenidos de carbono capturado en los suelos de los sistemas productivos analizados en este estudio, destacan el más alto contenido de carbono en el sistema productivo de caña de azúcar, el cual demuestra que la adecuada combinación de los factores biofísicos y prácticas

de manejo, entre ellos la topografía con una pendiente de 5°, riego, y la aplicación de abonos orgánicos, la ausencia de quemas y la permanencia del rastrojo y residuos agrícolas en el sitio, favorece la incorporación de la materia orgánica en el suelo y evita la emisión directa de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

A partir de la aplicación de las dos metodologías utilizadas en este estudio, concluimos que ambas son adecuadas para estimar la captura de carbono en suelos bajo diferentes sistemas productivos. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta el objetivo de su utilización, ya que si se pretende estimar los almacenes de carbono edáfico para servicios ambientales, la metodología más adecuada es la de muestreo por separación, esta metodología brinda datos exactos y confiables que permiten realizar un estudio más minucioso.

Por el otro lado si se pretende conocer la estimación de carbono en el suelo solo de una manera general se recomienda emplear la metodología por cuarteo mediante esta se obtienen valores promedio y se reduce considerablemente el esfuerzo para la colecta y análisis de las muestras.

Los resultados del presente estudio dan pauta para sugerir la realización de estudios en otros sistemas productivos, con el objeto de valorar el papel que está desempeñando el suelo aprovechable y su potencial de captura de carbono en el ámbito regional del Estado de México.

## Bibliografía consultada

---

- Acosta, M. et al. (2001). *Metodología Para Medir La Captura De Carbono En Sistemas Naturales Y Agrícolas De Ladera*. DF: Colegio de Posgraduados.
- Arroyo Pedraza, J. L. (1999). *Zacazonapan. Monografía Municipal*. Toluca: Instituto Mexiquense de Cultura.
- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. México: Editorial Fondo de Cultura Económica.
- Burras, L., Kimbler, J.M, Lal, R, Mausbach, M.J., Uehara, G., Cheng, H.H., Kissel, D.E, Luxumore, R.J., Rice, C.W., Wilidng, L.P. (2001) *Carbono sequestration: position of Soil Science Society of America*. Mc
- Cárdenas, H. (1992). *Residuos Agrícolas. Barranquillas: Presenca*.
- Carter, S. (1991). *Análisis geográfico del uso de la tierra en Centroamérica. Agricultura sustentable en laderas centroamericanas*. San José, Costa Rica: Memorias del Taller IICA/CIAT/CATIE/COSUDE.
- Chiavenato, I. (1992). *Introducción a la teoría de la administración (3ª ed.)*. Mc Graw-Hill.
- CP Colegio de Posgraduados. (1998). *Manejo Sostenible de Laderas. Regiones Cuicateca, Maxateca y Mixe de Oaxaca, México*. Montecillo, México: Colegio de Posgraduados.
- CP Colegio de Posgraduados. (2001). *Documento de la Tercera Reunión del Comité Técnico de Coordinación y Seguimiento del Proyecto Manejo Sustentable de Laderas*. Oaxaca, México: Colegio de Posgraduados.
- CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2009) *Biodiversidad Mexicana*. Mexico DF. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Cuello, C. & Durrin, P. 1995 *Sustainable Development and Philosophies of Technology in Phil & Tech Fall*. Eu
- Departamento de Zoología, 2001 *Climas regionales*, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM.
- FAO Food and Agriculture Organization, (2002), *Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Malcom Hall
- FAO Food and Agriculture Organization, (2009). *Captura de carbono en suelos para un manejo de la tierra*. Institut national de recherche agronomique París Francia

- FAO Food and Agriculture Organization (2001). *Sistemas de producción agropecuaria y pobreza. Como mejorar los medios de subsistencia de los pequeños agricultores ante este mundo cambiante.* Malcom Hal
- Fitz Patrick, E. e. (1996). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Introducción a la ciencia de los suelos.* Escon
- Galdames Ortíz, D. (2000). *Ingeniería Ambiental y Medio Ambiente.* DF: Imprenta Universitaria de México.
- GEM Gobierno del Estado de México. (1995). *Indicadores Básicos para la Planeación Regional.* Secretaría de Finanzas de Planeación.
- Gupta, V, V.S.R, Germida, J.J, (1988). *Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation.* Soil Biol. Biochem.
- Gutiérrez S. Raul. (2006) *Introducción al Método Científico,* Decimotava edición, Esfinge, México.
- H. Ayuntamiento de Zacazonapan. (2000). *Plan de Desarrollo Municipal de Zacazonapan.* México.
- Hall, M. e. (2001). *Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza.* Roma: FAO y Banco Mundial.
- Ibrahim, M. e. (2007). *Almacenamiento de carbon en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas(45), 27-36.*
- INE Instituto Nacional de Ecología, I. N. (11 de Junio de 2012). *Cambio Climático en México.* Recuperado el 22 de Julio de 2012, de [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/)
- INEGI Instituto nacional de Estadística y Geografía (2010). *Serie I escala 1:50000, México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2007). *Censo Agrícola ganadero y forestal, México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, P. I.(2000). *Cambio en el Uso de la Tierra y Forestación . Protocolo S/F artículos 1.3 y 1.4.*
- LaSalle J, T. e. (2008). *Regenerative Organic Farming:A Solution to Global Warming.* Rodale Institute.

Lindarte, E. e. (1991). *Instituciones, tecnología y políticas en la agricultura sostenible de laderas en América Central. Agricultura sustentable en las laderas centroamericanas. Memorias del taller IICA/CIAT/CATIE/COSUDE. San José, Costa Rica.*

López Ritas, J. e. (1990). *El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio (4ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa.*

Lotti, G. y. (1986). *Análisis químico agrario. Madrid: Alambra.*

Marañés, A. et al. (1994). *Análisis de suelos. Departamento de edafología y química agrícola. Almería: Universidad de Almería.*

Novoa, R. e. (2000). *Inventario de gases con efecto invernadero emitidos por la actividad agropecuaria chilena. Agri Tec.*

ODEPA Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, O. d. (2006). *Temporada Agrícola . Santiago de Chile: Ministerio de Agricultura. Andros Impresores*

ONU Organización de las Naciones Unidas, O. d. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Informal 84*

Parker, R. (2000). *La ciencia de las plantas. Madrid: Paraninfo.*

Plaster, E. (2000). *La ciencia del suelo y su manejo. Madrid: Paraninfo.*

Porta Casanellas, J. e. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Mundi-Prensa.*

PROBOSQUE Protectora de Bosques del Estado de México. (2010). *Inventario forestal de la entidad. Gobierno del Estado de México.*

Robert, M. (2002). *Captura de carbono en el suelo para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.*

Rudolph, A. e. (2002). *Evaluación de materia orgánica e hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales. Bahía de Concepción.*

S.W, B. e. (1981). *Génesis y clasificación de los suelos. Trillas.*

Schroder, P. (1994). *Carbon storage benefits of agroforestry systems 27. En Robert, M. (2002). Captura de carbono en el suelo para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.*

Schönwiese, 2003 *Tabla de emisiones antropogenicas.*

- Schulze, E. D. (2000). *metodología para medir la captura de carbono en sistemas naturales y agrícolas. Managing forest after Kyoto. Science 289 (5487):2058-2059.*
- Segura Castruita, M. e. (2005). *Carbono Orgánico de los suelos de México (Vol. 23). Terra Latinoamericana.*
- Sierra Cárdenas, D. C. (2010). *Relación de la captura de carbono en Saccharum officinarum con otros factores ambientales para el cultivo de caña panelera. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.*
- UAC Universidad Austral de Chile, Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico 2001 *Medición de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques de Chile.*
- UAM Universidades Autonomas de México. (1989). *Diccionario Geomorfológico. DF: Universidad Autónoma de México.*
- UNC Universidad Nacional de Catamarca. (2008). *Global Warming, Rodale Institute. Recuperado el 16 de Octubre de 2011, de Génesis del suelo y características generales: <http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/bellamy>*
- Urbano, P. (1995). *Tratado de fitotecnia general (2°ed.). Madrid: Mundi-Prensa.*
- Villalbí, I. e. (1988). *Análisis de suelos y foliares: interpretación y fertilización. Barcelona: Monografías de la obra agrícola de la fundación Caja de Pensiones.*
- William Gadoy Bernasconi (1991). *Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos.*
- WRB Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, I. G. (2007). *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. Roma: FAO.*
- Yu. G., P. e. (2006). *Assesment of the Reserves of Organic Matter in the World's Soils: Methodology and Results (Vol. 39).*

## Anexos

### Tabla de unidades

Símbolo	Prefijo	Múltiplo
G	Giga	10 <sup>9</sup>
T	Tera	10 <sup>12</sup>
P	Peta	10 <sup>15</sup>

Elaboración Propia

### Instrumentos para registra información del muestreo en campo

El instrumento que será utilizado para la obtención de muestras en campo que permitan estimar la cantidad carbono presente en el suelo. Este formato es el que fue implementado para el muestro de suelos por parte del el inventario dasonómico forestal (2010) en este documenta también se indica cual es la forma correcta de llenar el formato de suelos.

Formato de uso actual del suelo

Seleccionar cual es el uso actual que tiene el suelo

1.-Agrícola	
2.-Ganadero	
3.- Agricultura y ganadería	

Observaciones \_\_\_\_\_

Formato de la profundidad del suelo espesor \_\_\_\_\_ cm

Clave	Espesor	Especificación en cm.
1.-	Menor de 15	
2.-	Entre 15 a 30	
3.-	Entre 30 a 60	

Observaciones \_\_\_\_\_

## Parámetros de la degradación del suelo

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

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

En base a las 2 tablas anteriores si se observan evidencias de degradación del suelo, establecer el grado o nivel de afectación y el porcentaje de afectación, en base a los cuadros siguientes:

Existe evidencias de degradación del suelo SI \_\_ NO \_\_ Pendiente dominante \_\_\_ % Long. Pendiente \_\_\_ m.

Tipos de degradación presentes	Grado o nivel de afectación	Porcentaje de afectación del sitio (% de la superficie)

Formato de muestreo

Sitio	Profundidad real del muestreo (cm)	Volumen del material extraído(cm <sup>3</sup> )	Peso total del suelo extraído (gr)	Peso de la muestra de suelo	Observaciones

Formato dimensiones del cuerpo excavado durante el muestreo

Sitio	Ancho (cm)	Largo (cm)	Profundidad mayor (cm) (cuando hay pendiente)	Profundidad menor (cm) (cuando hay pendiente)	Profundidad real del muestreo (cm)  (cuando no exista pendiente)	Peso total del suelo extraído (gr)	Peso de la muestra del suelo (gr)	Limitantes físicas si existieran	Volumen del material extraído en (cm <sup>3</sup> )

Formato de textura del suelo en %

Arenas %	Limos %	Arcillas%

Clase de textura \_\_\_\_\_

Formato color de suelo

Condición de suelo	Color
Seco	
Húmedo	

Formato cantidad de carbono orgánico y materia orgánica en el suelo en %

ELEMENTO A IDENTIFICAR	%
MATERIA ORGANICA	
CARBONO ORGANICO	